Современная школа
новая программа

Ф. Я. Божинова,
Е. А. Карпухина

ФИЗИКА 10

Академический уровень

СБОРНИК ЗАДАЧ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
РАНОК

Современная школа
новая программа

Ф. Я. Божинова,
Е. А. Карпухина

ФИЗИКА 10

Академический уровень

СБОРНИК ЗАДАЧ

- Разные типы физических задач: качественные, расчетные, графические
- Примеры решения задач
- Ответы ко всем задачам
- Справочные таблицы

ИЗДАТЕЛЬСТВО
РАНОК

УДК 371.388:53
ББК 22.3я72
К48

Рекомендовано для учащихся 10 класса; соответствует действующей программе по физике для общеобразовательных учебных заведений, утвержденной МИНИСТЕРСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Рецензент
Т. А. Сарий, учитель физики высшей категории Харьковского лицея № 89, учитель-методист

Науковий редактор
В. В. Хардиков, доцент кафедры теоретической радиофизики ХНУ им. В. Н. Каразина, канд. физ.-мат. наук

Карпухина Е. А.
К48 Физика. 10 класс. Академический уровень: Сборник задач / Е. А. Карпухина, Ф. Я. Божинова.— Харьков: Издательство «Ранок», 2010.— 192 с.
ISBN 978-611-540-761-3

Пособие соответствует действующей программе по физике для 10 класса (академический уровень) и содержит задачи, дифференцированные по трем уровням сложности.

Издание построено максимально удобно для учителя и учащегося; по каждой теме приведены примеры решения типовых задач.

Пособие предназначено для учащихся 10 класса общеобразовательных учебных заведений и учителей физики.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я72

Навчальне видання

КАРПУХІНА Олена Олександрівна
БОЖИНОВА Фаїна Яківна

ФІЗИКА. 10 КЛАС.
Академічний рівень
Збірник задач
(російською мовою)

Редактор *О. С. Кузнєцов*. Технічний редактор *О. В. Сміян*
Код Т11486Р. Підписано до друку 28.07.2010. Формат 60×90/16. Папір офсетний.
Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 11.

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 3322 від 26.11.2008.
61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355. E-mail: office@ranok.kharkov.ua
Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

З питань реалізації: (057) 712-91-44, 712-90-87. E-mail: commerce@ranok.kharkov.ua
«Книга поштою»: (057) 717-74-55, (067) 546-53-73. E-mail: pochta@ranok.kharkov.ua
www.ranok.com.ua

ISBN 978-611-540-761-3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решение задач является необходимой составляющей усвоения учащимися школьного курса физики.

Сборник задач, который предлагается Вашему вниманию, содержит задачи разных типов по всем темам курса физики 10 класса (академический уровень). Содержание сборника соответствует действующей программе по физике для общеобразовательных учебных заведений.

Задачи, представленные в пособии, сгруппированы по уровням сложности (первый, второй и третий), что в целом соответствует среднему, достаточному и высокому уровням предусматриваемых учебных достижений учащихся в процессе изучения курса физики 10 класса.

Общее число задач довольно велико и значительно превышает необходимое, что позволяет использовать сборник не только для решения типовых задач на уроках и подбора дифференцированных домашних заданий, но и для организации текущего и тематического оценивания или для самообразования.

Структура сборника будет удобной и учащимся, и учителю:

- в каждом разделе есть примеры решения задач;
- качественные задачи имеют пометку **?** (они не нуждаются в расчетах). С помощью таких задач можно, например, организовать мотивационный фронтальный опрос;
- выделена группы однотипных задач. Первая задача из такой группы обозначена серым прямоугольничком — ее можно решить в классе коллективно. Остальные задачи группы обозначены светлым прямоугольничком — учащиеся по аналогии могут решать их самостоятельно на уроке или дома.

КИНЕМАТИКА

1. ВВЕДЕНИЕ

Пример решения задач

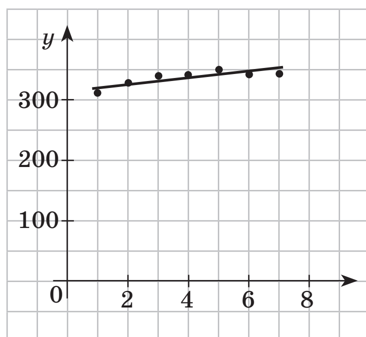
Задача. Исследуя зависимость физической величины y от физической величины x, учащиеся получили результаты, приведенные в таблице. Погрешность измерения величины x равна 0,1, а погрешность измерения величины y равна 5 (единицы величин такие же, как в таблице). Какой вид будет иметь график, построенный по данным таблицы?

x	1	2	3	4	5	6	7
y	310	320	340	340	350	345	345

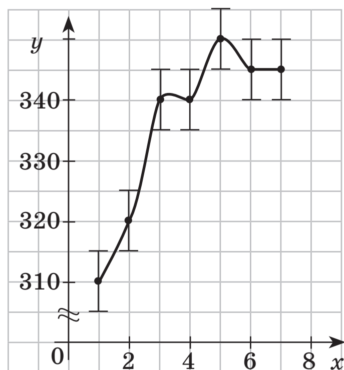
Решение

Чтобы построить график, в первую очередь следует рационально выбрать масштаб. Например, график, изображенный на рис. *а*, не является правильным, поскольку цена деления по оси OY существенно превышает погрешность измерения величины y, а потому вывод о характере зависимости $y(x)$ по такому графику корректно сделать нельзя.

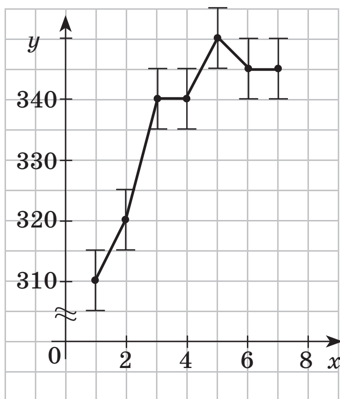
Можно построить график так, как показано на рис. *б* и *в*, однако предусмотреть минимумы и максимумы или резкие изменения величины y, которую ученики исследовали, невозможно, поскольку отклонения y мало отличаются от погрешности измерений. Таким образом, наиболее достоверным будет график, изображенный на рис. *г*, поскольку в этом случае, как видно из рисунка, все точки отдалены от графика на расстояние, не превышающее погрешности измерений.



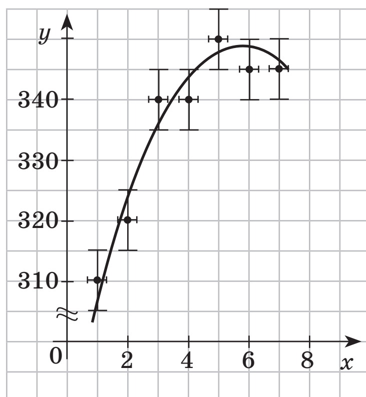
а



б



в

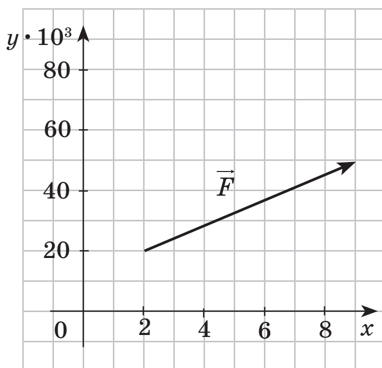


г

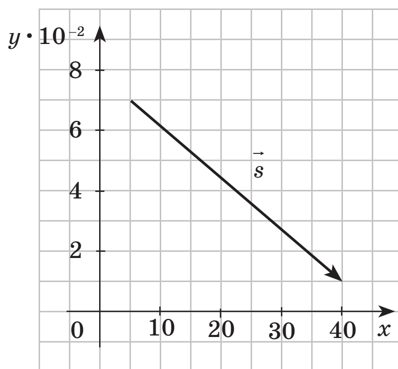
1-й уровень сложности

1.1. На плоскости имеются две точки: $A(3;-2)$ и $B(-1;4)$. Постройте вектор $\overrightarrow{AB}$, определите его проекции на координатные оси.

1.2. Определите проекции векторов $\vec{F}$ и $\vec{s}$, изображенных на рис. *а* и *б*, на координатные оси *OX* и *OY*.



а



б

? 1.3. Какое значение имеет проекция вектора на координатную ось, если вектор перпендикулярен к этой оси?

? 1.4. Чему равна проекция вектора на координатную ось, если вектор параллелен координатной оси?

1.5. Определите среднее значение «косой сажени» в сантиметрах и максимальное отклонение от него для группы из 5 человек в вашем классе. Сравните полученное вами значение с величиной «косой сажени», которая была принята в России в 1835 г. и равнялась 213,36 см. *Примечание*. «Косая сажень» — это расстояние от пальцев левой ступни до кончиков пальцев поднятой вверх правой руки.

? **1.6.** Решая задачи, ученик получил формулы для расчетов. Проверьте, совпадают ли единицы правой и левой частей выражений:

а) давление столба жидкости высотой h на дно сосуда: $p = \rho g h$;

б) скорость движения тела в момент падения на землю: $v = \sqrt{2gh}$;

в) сила, с которой пластилиновый шарик давит на стену в момент удара: $F = mvt$.

? **1.7.** Для каких из приведенных в скобках величин (сила F, заряд q, работа A, мощность N, плотность ρ, частота ν, давление p, концентрация частиц n) используются такие же единицы измерения, как и для выражений: Fv, $\frac{mv^2}{2}$, mg, mn?

1.8. Длина класса составляет приблизительно 12 м. Одна группа учеников измеряет эту длину с помощью рулетки длиной 15 м с сантиметровыми делениями, другая — с помощью линейки длиной 50 см с миллиметровыми делениями. У какой группы относительная погрешность измерения будет меньшей? Почему?

1.9. Измеряя длину стола, ученики получили такие результаты: $x_1 = 1{,}55$ м; $x_2 = 1{,}50$ м; $x_3 = 1{,}45$ м; $x_4 = 1{,}50$ м. Какую длину имеет стол? Какими были случайная, абсолютная и относительная погрешности измерений?

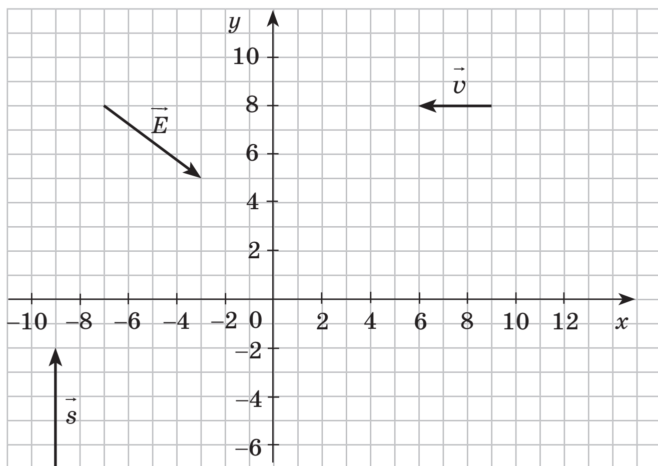
1.10. Ученик, определяя массу цилиндра с помощью весов, выполнил взвешивание три раза и получил следующие результаты: $m_1 = 149{,}5$ г; $m_2 = 148{,}9$ г; $m_3 = 149{,}15$ г. Какова масса цилиндра? Определите абсолютную и относительную погрешности измерений. Результат запишите в таком виде: $m = m_с \pm \Delta m$.

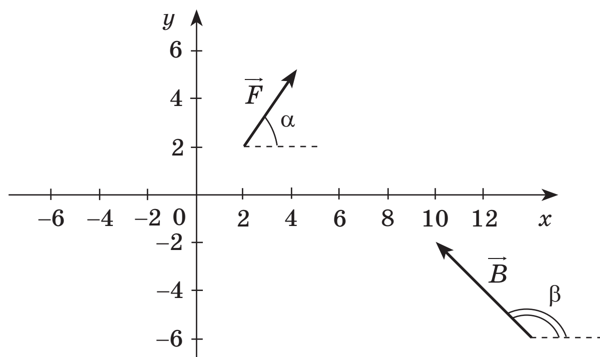
1.11. В таблице приведены результаты измерения времени t скатывания шарика с наклонной плоскости высотой H (длина наклонной плоскости неизменна). Постройте график зависимости этого времени от высоты H. Можно ли утверждать, что время скатывания шарика линейно уменьшается с ростом высоты наклонной плоскости?

H, см	$5{,}0 \pm 0{,}5$	$10{,}0 \pm 0{,}5$	$15{,}0 \pm 0{,}5$	$20{,}0 \pm 0{,}5$	$25{,}0 \pm 0{,}5$
t, с	$0{,}64 \pm 0{,}10$	$0{,}46 \pm 0{,}10$	$0{,}36 \pm 0{,}10$	$0{,}32 \pm 0{,}10$	$0{,}26 \pm 0{,}10$

2-й уровень сложности

1.12. Определите проекции векторов, изображенных на рисунках, на координатные оси. Известно, что $\alpha = 60°$, $\beta = 135°$; $\left|\vec{F}\right| = 4$; $\left|\vec{B}\right| = 6$.





1.13. Имеются два вектора: $\vec{F_1}$, который направлен вдоль оси OX и модуль которого равен 3, и $\vec{F_2}$, который направлен под углом 60° к оси OX и модуль которого равен 4. Найдите векторную сумму и разность этих векторов, определите приблизительные модули суммы и разности векторов.

? **1.14.** Как, не изменяя модуль вектора $\vec{B}$, уменьшить его проекцию на ось OX (или ось OY) в 2 раза? Покажите это на рисунке.

1.15. Даны величина вектора $\vec{F}$ и угол α, который он образует с осью OX. Определите проекции вектора $\vec{F}$ на оси OX и OY для случаев, приведенных в таблице.

F, Н	1	2	4	6	8	10	12
α, град	0	30	45	60	90	120	180

1.16. Даны проекции вектора скорости $\vec{v}$ на оси OX и OY. Определите модуль вектора скорости $\vec{v}$ и его направление в случаях, приведенных в таблице.

v_x	2	3	4	5	5	4	8	15
v_y	3	4	5	5	4	3	4	5

1.17. Зависимость давления определенной массы газа от его объема задана уравнением $p = \frac{4 \cdot 10^5}{V}$. Постройте график этой зависимости.

1.18. Зависимость координаты тела от времени задана уравнением $x = 5\sin\frac{\pi t}{3}$. Постройте график этой зависимости.

1.19. По данным таблицы постройте график зависимости плотности газов от их молярной массы. Определите, используя эту зависимость, молярную массу метана (основной составляющей природного газа), плотность которого при нормальных условиях 0,717 кг/м^3.

Плотности газов при нормальных условиях и их молярные массы

Газ	H_2	He	Ne	N_2	CO	O_2	Ar	CO_2
ρ, кг/м^3	0,09	0,18	0,9	1,25	1,25	1,43	1,78	1,97
M, 10^{-3} кг/моль	2	4	20	28	28	32	40	44

1.20. Чтобы определить расстояние до Луны, ученик вырезал полоску бумаги шириной 4 мм и расположил ее перпендикулярно к линейке. Один конец линейки он поместил возле глаза, другой направил на нижний край Луны и стал перемещать полоску бумаги до тех пор, пока она полностью не закрыла Луну. При этом расстояние от глаза до полоски оказалось равным 44 см. Какое значение расстояния до Луны получил ученик, если диаметр Луны равен 3477 км?

1.21. В физике довольно часто используют замену одних функций другими, что позволяет проводить приближенные расчеты. В частности, $\sin\alpha \approx \alpha$, если α задано в радианах, а $\sqrt{1+x} \approx 1+\frac{1}{2}x$. Заполните приведенную таблицу и рассчитайте относительную погрешность предложенных замен. Для каких значений x и α, на ваш взгляд, такая замена является оправданной?

$\sin\alpha \approx \alpha$				$\sqrt{1+x} \approx 1+\frac{1}{2}x$			
α, град	α, рад	$\sin\alpha$	ε, %	x	$\sqrt{1+x}$	$1+\frac{1}{2}x$	ε, %
1				0,01			
5				0,05			
10				0,1			
20				0,2			
30				0,3			
45				0,5			

3-й уровень сложности

1.22. Имеются два вектора: $\vec{a}=(3;4)$ и $\vec{b}=(2;0)$. Постройте векторы $(\vec{a}+\vec{b})$ и $(2\vec{a}-3\vec{b})$ и определите модули этих векторов.

1.23. Скорости движения двух тел на плоскости заданы векторами $\vec{v}_1=(1;2)$ и $\vec{v}_2=(3;4)$. Какой угол образуют направления движения тел в данный момент?

1.24. Постройте графики зависимости скоростей движения трех тел от времени, если скорости изменяются в соответствии со следующими уравнениями: $v_1(t)=3t+5$; $v_2(t)=3t^2-4t+1$; $v_3(t)=-t^3+1$. Через какой промежуток времени будут одинаковыми скорости движения: а) первого и второго тел; б) второго и третьего тел?

? **1.25.** Известно, что скорость вытекания жидкости из узкого отверстия в нижней части сосуда зависит от плотности ρ и давления p жидкости на уровне отверстия. Пользуясь методом размерностей, определите, во сколько раз изменится скорость вытекания жидкости, если давление возле отверстия увеличится вдвое.

1.26. Ученик исследовал зависимость силы тока в обмотке резистора от приложенного напряжения. Данные измерений ученика приведены в таблице. По этим данным постройте график зависимости силы тока от напряжения. Можно ли считать эту зависимость линейной? Определите также сопротивление резистора. Прокомментируйте полученные результаты.

U, В	10,2	15,2	19,8	24,8	30,2
I, А	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

1.27. Во ходе измерений выяснилось, что диаметр мяча составляет $D=(30\pm1)$ см. Определите объем мяча (в м^3), рассчитанный на основе результата измерений.

1.28. Изучая закон Архимеда, один ученик погружал металлический кубик, подвешенный к динамометру, в стакан с водой, а другой погружал металлический цилиндр, подвешенный к динамометру, в мензурку с водой. Результаты измерений первого ученика: ребро

кубика $a = (40 \pm 1)$ мм, вес кубика в воздухе $(5{,}0 \pm 0{,}1)$ Н, в воде $(4{,}4 \pm 0{,}1)$ Н. У второго ученика вес цилиндра в воде и воздухе составлял соответственно $(1{,}4 \pm 0{,}1)$ Н и $(1{,}6 \pm 0{,}1)$ Н, а объем вытесненной воды — (15 ± 2) мл. Могут ли оба ученика в пределах погрешностей своих измерений утверждать, что вес вытесненной жидкости равен выталкивающей силе? Можно ли, опираясь на результаты измерений ребят, утверждать, что выталкивающая сила линейно возрастает с увеличением объема погруженного в воду тела?

2. ДВИЖЕНИЕ И ПОКОЙ

Пример решения задач

Задача. Вагон катится с сортировочной горки. Какие части вагона движутся, а какие пребывают в состоянии покоя относительно: а) дороги; б) стенок вагона.

Ответ: относительно дороги движутся все точки вагона и его колес, и только те точки колес, которые в этот момент касаются железнодорожного полотна, находятся в состоянии покоя. Относительно стенок вагона движутся все точки колес, кроме их центров.

1-й уровень сложности

? 2.1. Может ли тело одновременно находиться в состоянии покоя и двигаться?

? 2.2. Приятели едут в автомобиле. Относительно каких тел они находятся в покое, а относительно каких — движутся?

? 2.3. На столике в купе поезда, который движется со скоростью 100 км/ч, лежит книга. В каком состоянии она находится — покоя или движения?

2-й уровень сложности

? 2.4. Воздушный шар летит подхваченный ветром. Движется ли он: а) относительно земли; б) относительно воздуха?

? **2.5.** Корабль плывет в строю эскадры. Движется ли он: а) относительно воды; б) относительно эскадры?

? **2.6.** Комбайнер, не останавливая комбайн, выгружает зерно из бункера комбайна в кузов грузовика. Что можно сказать о движении грузовика в системе отсчета, связанной: а) с поверхностью земли; б) с комбайном?

? **2.7.** В фильме «Скорость» пассажиров автобуса, который движется со скоростью 120 км/ч, эвакуируют на автоплатформу, которая едет рядом с автобусом. В состоянии покоя или движения находится платформа в системе отсчета, связанной: а) с поверхностью земли; б) с автобусом? Чему равняется скорость движения автоплатформы в этих системах отсчета?

3-й уровень сложности

? **2.8.** Во время стоянки поезда с верхней полки купе мальчик уронил мяч. Может ли мяч упасть на то же место, если мальчик уронит мяч во время движения поезда? Ответ обоснуйте.

3. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ТРАЕКТОРИИ

Пример решения задач

Задача. Кран, вращаясь вокруг своей оси, одновременно поднимает груз. Какой вид будет иметь траектория движения груза: а) относительно земли; б) относительно крановщика?

Ответ: а) относительно земли траекторией движения груза является винтовая линия (груз одновременно движется по окружности и вверх); б) относительно крановщика груз только поднимается, поэтому его траектория — вертикальная прямая.

1-й уровень сложности

? **3.1.** Какие из этих тел движутся относительно Земли прямолинейно, а какие — криволинейно: а) лифт; б) искусственный спутник Земли; в) пуля, вылетевшая из ружья; г) капля воды из водопроводного крана?

? **3.2.** По прямолинейному участку железной дороги движется поезд. Какие его части относительно земли движутся прямолинейно, а какие — криволинейно?

? **3.3.** Что вы можете сказать о траектории движения тела, если перемещение этого тела равно нулю?

? **3.4.** Какую форму имеет траектория движения тела, если пройденный путь и модуль перемещения тела одинаковы?

2-й уровень сложности

? **3.5.** Мостовой кран равномерно опускает груз и одновременно перемещает его в горизонтальном направлении. Какой вид будет иметь траектория движения груза: а) относительно земли; б) относительно крановщика? Сделайте пояснительный рисунок.

? **3.6.** Как приблизительно будет выглядеть траектория движения конца пропеллера самолета, летящего над землей горизонтально: а) относительно летчика; б) относительно взлетной полосы аэродрома? Сделайте пояснительный рисунок.

? **3.7.** Как будет выглядеть траектория движения искусственного спутника Земли относительно Солнца?

3-й уровень сложности

? **3.8.** Диск вращается в горизонтальной плоскости. От его центра к краю катится шарик. Какой вид имеет траектория движения шарика относительно: а) диска; б) земли?

4. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА, ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Пример решения задач

Задача. Приведите примеры, когда Солнце можно считать материальной точкой.

Ответ: Солнце можно считать материальной точкой, когда рассматривается движение планет вокруг Солнца или движение Солнца в Галактике, поскольку в этих случаях размеры Солнца принципиально меньше расстояния, на котором рассматривается его движение.

1-й уровень сложности

? **4.1.** Можно ли космический корабль считать материальной точкой: а) при определении скорости его движения по орбите; б) при стыковке корабля с орбитальной станцией; в) при определении расстояния от корабля до Земли во время полета?

? **4.2.** В каком случае Луну можно считать материальной точкой относительно ракеты: когда ракета стартует с поверхности Земли или когда совершает посадку на поверхность Луны?

? **4.3.** Можно ли считать Юпитер материальной точкой: а) рассматривая его движение в Солнечной системе; б) определяя расстояние от Земли до Юпитера; в) рассматривая движение атмосферных потоков Юпитера?

? **4.4.** Поезд движется через железнодорожный мост. Можно ли относительно моста считать поезд материальной точкой?

2-й уровень сложности

? **4.5.** Вертолет поднимается вверх, одновременно перемещаясь вперед. Можно ли назвать его движение поступательным?

? **4.6.** Можно ли рассматривать движение кабинки аттракциона «Колесо обозрения» как движение материальной точки?

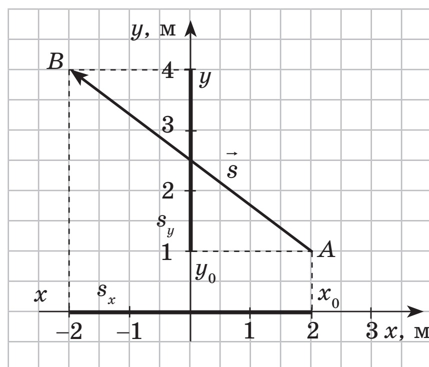
5. ПУТЬ И ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Пример решения задач

Задача. Тело осуществило перемещение $\vec{s}$ из точки A с координатами $x_0 = 2$ м и $y_0 = 1$ м в точку B с координатами $x = -2$ м и $y = 4$ м. Начертите вектор перемещения. Определите проекции вектора перемещения на координатные оси OX и OY и его модуль.

Решение

Начертив координатную плоскость XOY, выбираем масштаб (2 клеточки соответствуют 1 м), обозначаем точки A и B, соединяем их — получаем вектор $\vec{s}$ (см. рисунок).



Проекция вектора $\vec{s}$ на ось OX: $s_x = x - x_0$. Аналогично проекция вектора $\vec{s}$ на ось OY: $s_y = y - y_0$. Таким образом, проекции вектора перемещения на координатные оси OX и OY равны изменениям координат (x и y) тела:

$$s_x = -2\text{ м} - 2\text{ м} = -4\text{ м};\quad s_y = 4\text{ м} - 1\text{ м} = 3\text{ м}.$$

Модуль вектора перемещения найдем по теореме Пифагора:

$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}, \text{ т. е. } |\vec{s}| = \sqrt{(-4)^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ (м)}.$$

Ответ: $s_x = -4$ м; $s_y = 3$ м; $|\vec{s}| = 5$ м.

1-й уровень сложности

? **5.1.** Как определить пройденный телом путь, если известна траектория его движения?

? **5.2.** Значение какой физической величины измеряет счетчик на спидометре автомобиля — пройденного пути или перемещения?

2-й уровень сложности

? **5.3.** Автомобиль совершает правый поворот. Одинаковыми ли будут: а) перемещение его правых и левых колес? б) пройденные правыми и левыми колесами пути?

? **5.4.** Два тела, двигаясь прямолинейно, осуществили одинаковые перемещения. При каком условии пройденные ими пути также одинаковы?

? **5.5.** По эскалатору метро поднимаются два пассажира: один стоит на движущемся эскалаторе, а другой идет по эскалатору вверх. Для каждого пассажира сравните его путь и перемещение: а) относительно платформы метро; б) относительно эскалатора.

? **5.6.** На движущемся вверх эскалаторе метро находятся два пассажира: один стоит, а другой идет вниз со скоростью, которая по модулю равна скорости эскалатора. Одинаковы ли пройденный каждым из пассажиров путь и его перемещение: а) относительно платформы метро; б) относительно эскалатора?

? **5.7.** По эскалатору метро, движущемуся вниз, спускаются два пассажира: один стоит, а другой идет в направлении движения эскалатора. Одинаковы ли перемещение каждого из пассажиров и пройденный им путь: а) относительно платформы метро; б) относительно эскалатора?

5.8. Лодка на подводных крыльях плывет прямолинейно по озеру из пункта A до пункта B, расстояние между которыми 40 км, а потом возвращается в пункт A. Какими будут перемещение и пройденный путь лодки?

5.9. Автомобиль, двигаясь по прямому шоссе, отъехал от населенного пункта на 600 м, потом повернул назад и, преодолев 700 м, остановился. Определите путь, пройденный автомобилем, и его перемещение.

5.10. Мяч, брошенный вертикально вверх, достиг высоты 16 м от точки броска и затем упал в ту же самую точку. Какой путь прошел мяч? Чему равняется его перемещение?

5.11. Стрела, выпущенная из лука вертикально вверх с обрыва высотой 5 м, поднялась на 6 м над обрывом и упала к его подножию. Определите путь и перемещение стрелы за время полета.

5.12. Велосипедист, двигаясь по кольцевому велотреку, преодолел полукруг. Какое перемещение осуществил велосипедист, если пройденный им путь равняется 157 м? Сделайте пояснительный рисунок.

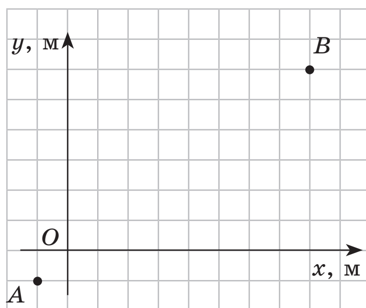
5.13. Преодолев четверть круга, мотоциклист осуществил перемещение 70 м. Какой путь он прошел? Сделайте пояснительный рисунок.

5.14. Лошадь, двигаясь по арене цирка, пробегает круг диаметром 14 м за 40 с. Определите путь и модуль перемещения лошади: а) за 40 с движения; б) за 20 с движения; в) за 60 с движения; г) за 10 с движения. Сделайте пояснительные рисунки.

5.15. Мостовой кран поднял груз на 2,5 м и одновременно переместил его на 5 м в горизонтальном направлении. Найдите модуль перемещения груза за время движения.

5.16. Мать с сыном, прогуливаясь в парке, прошли по прямой аллее парка 40 м, потом повернули на другую аллею, которая пересекает первую под углом 90°, и прошли по ней еще 30 м. Определите пройденный ими путь и модуль перемещения.

5.17. Тело переместилось из точки A в точку B (см. рисунок). Изобразите вектор перемещения, определите его модуль и проекции на координатные оси, если 2 клеточки на рисунке соответствуют 20 м.



5.18. Тело переместилось из точки A с координатами $x_A = -10$ км и $y_A = 40$ км в точку B с координатами $x_B = 60$ км и $y_B = -20$ км. Изобразите вектор перемещения, определите его модуль и проекции на координатные оси.

5.19. Тело переместилось из начала координат так, что проекции его перемещения на координатные оси представляют $s_x = 4$ м и $s_y = 3$ м. Постройте вектор перемещения и определите его модуль.

5.20. Велосипедист, двигаясь по прямолинейному участку шоссе, проехал 25 км. Постройте вектор его перемещения, если известно, что проекция вектора перемещения на ось OX составляет 20 км, а координаты поселка, из которого велосипедист стартовал, равняются $x_0 = 50$ км и $y_0 = 30$ км.

3-й уровень сложности

5.21. Шар-зонд поднялся на высоту 800 м, а западный ветер переместил его на 600 м. Найдите модуль перемещения шара относительно точки запуска. Под каким углом видно шар из точки его запуска? Решите задачу аналитически и графически.

5.22. Группа туристов прошла на север 15 км, а затем повернула на запад и прошла еще 20 км. Найдите путь, пройденный группой, модуль и направление ее перемещения. Решите задачу аналитически и графически.

5.23. Во время игры в шахматы тура из левого нижнего относительно шахматиста угла переместилась сначала на 5 клеточек вперед, затем на 4 клеточки вправо, а следующим ходом еще на 2 клеточки вперед. Начертите траекторию движения туры и обозначьте ее перемещение в выбранном вами масштабе. Определите пройденный турой путь и модуль осуществленного ею перемещения, если 1 клеточка шахматной доски соответствует 2 см.

5.24. Заяц, путая следы, прыгнул на 1,5 м вперед, затем на 50 см вправо и еще на 2 м в направлении, противоположном первому прыжку. Изобразите вектор перемещения, определите его модуль и проекции на координатные оси.

6. РАВНОМЕРНОЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Пример решения задач

Задача. Из Харькова на запад отправился велосипедист со скоростью 20 км/ч, а через 3 ч в том же самом направлении выехал автомобиль со скоростью 80 км/ч. Через какое время после выезда велосипедиста и на каком расстоянии от Харькова автомобилист догонит велосипедиста?

Дано:

$v_1 = 20\ \frac{км}{ч}$

$v_2 = 80\ \frac{км}{ч}$

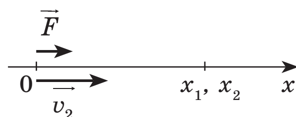
$\tau = 3$ ч

t — ?

x — ?

Решение

В системе отсчета «земля» начало координат свяжем с г. Харьков, откуда отправились оба тела, а начало отсчета времени — с началом движения велосипедиста.



Согласно условию автомобиль двигался на время τ меньше, чем велосипедист. Таким образом, уравнение их движения будут иметь вид:

$$\begin{cases} x_1 = v_1 t, \\ x_2 = v_2 (t - \tau). \end{cases}$$

В тот момент, когда автомобилист догонит велосипедиста, они будут находиться в одной точке $(x_1 = x_2)$.

Имеем систему уравнений, левые части которых равны, а следовательно, и правые части равны, т. е.

$$v_1 t = v_2 (t - \tau).$$

Решим уравнение относительно t:

$$t = \frac{v_2 \tau}{v_2 - v_1}.$$

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[t] = \frac{\frac{км}{ч} \cdot ч}{\frac{км}{ч} - \frac{км}{ч}} = ч;$$

$$\{t\} = \frac{80 \cdot 3}{80 - 20} = 4; \; t = 4 \text{ ч}.$$

Расстояние, на котором автомобилист догонит велосипедиста, равняется их общей координате. Найдем ее как координату велосипедиста:

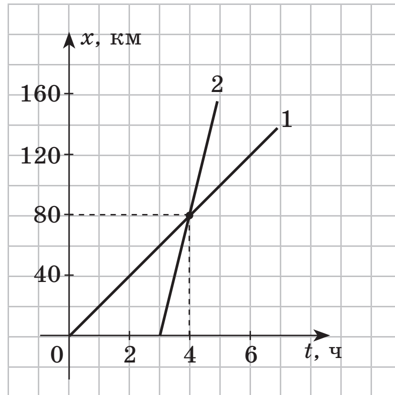
$$x = x_1 = v_1 t; \; [x] = \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \text{ч} = \text{км}; \; \{x\} = 20 \cdot 4 = 80.$$

Отже, $x = 80$ км.

Для графического решения задачи запишем уравнения движения велосипедиста и автомобиля:

$$x_1 = 20t, \; x_2 = 80(t - 3).$$

Построим их графики. Точка пересечения графиков будет определять координату места, где автомобиль догонит велосипедиста, и время, когда это произойдет (см. рисунок).



Ответ: автомобиль догонит велосипедиста через $t = 4$ ч после выезда велосипедиста на расстоянии $x = 80$ км от Харькова.

1-й уровень сложности

? **6.1.** Во время движения вдоль прямой улитка каждую секунду совершала перемещение, равное 1 мм. Можно ли считать ее движение равномерным?

? **6.2.** Мотоциклист, двигаясь равномерно прямолинейно, на преодоление двух одинаковых участков дороги потратил разное время. Сравните скорости его движения на этих участках.

? 6.3. Автомобиль, двигаясь равномерно прямолинейно, два одинаковых участка дороги преодолел с разными скоростями. Сравните время его движения на этих участках.

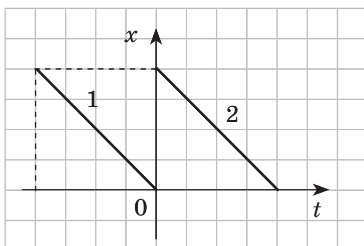
? 6.4. Турист, двигаясь с неизменной скоростью, на преодоление двух участков пути потратил разное время. Сравните длины этих участков.

6.5. Автобус, движущийся со скоростью 90 км/ч, обгоняет грузовик, скорость движения которго 15 м/с. Постройте в одной координатной плоскости графики скоростей движения обоих тел.

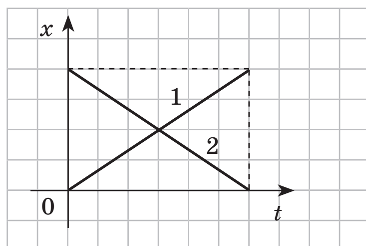
6.6. Мотоциклист и велосипедист движутся равномерно прямолинейно навстречу друг другу со скоростями соответственно 72 км/ч и 5 м/с. Постройте на одной координатной плоскости графики скоростей движения мотоциклиста и велосипедиста.

? 6.7. На рисунке изображены графики движения двух автобусов. Что общего между движениями автобусов? Чем они отличаются?

? 6.8. На рисунке изображены графики движения двух туристов. Что общего между движениями туристов? Чем они отличаются?



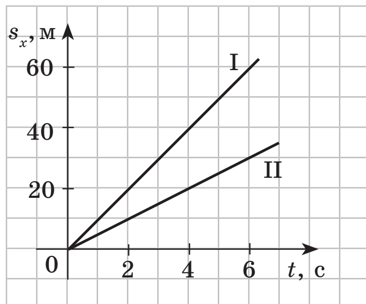
К задаче 6.7



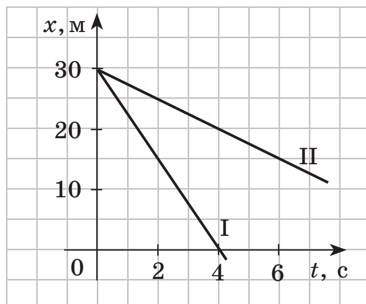
К задаче 6.8

6.9. По графикам перемещений двух тел, представленным на рисунке, определите, какое тело движется с большей скоростью. Определите скорости движения тел.

6.10. По графикам движения двух тел, представленным на рисунке, определите, какое тело движется с большей скоростью. Определите скорости движения тел.



К задаче 6.9



К задаче 6.10

6.11. Уравнение движения тела имеет вид: $x = 15 - 3t$. Охарактеризуйте движение, укажите его параметры, постройте график движения.

6.12. Уравнение движения автомобиля имеет вид: $x = -500 + 20t$. Охарактеризуйте движение, укажите его параметры, постройте график движения.

6.13. Уравнение движения поезда имеет вид: $x = 250 + 100t$. Охарактеризуйте движение, укажите его параметры и постройте график движения, учитывая, что координата измеряется в километрах, а время в часах.

2-й уровень сложности

? **6.14.** Можно ли считать движение тела равномерным прямолинейным, если оно за любые равные промежутки времени совершает одинаковые по модулю перемещения?

6.15. Скорость распространения радиоволн 300 000 км/с. Кто и на сколько раньше услышит певца: слушатели, сидящие на расстоянии 50 м от него в концертном зале в Киеве, или телезрители, которые смотрят прямую трансляцию концерта в Харькове, на расстоянии 480 км? Скорость звука в воздухе считайте равной 340 м/с. Технические задержки телетрансляции можно не учитывать.

6.16. На каком расстоянии находится радиослушатель, который слышит прямую трансляцию концерта на 195 мс раньше, чем слушатель в концертном зале,

сидящий на расстоянии 68 м от сцены. Скорость распространения радиоволн 300 000 км/с, а скорость звуковых волн в воздухе 340 м/с. Технические задержки телетрансляции не учитывайте.

6.17. На прямолинейном участке дороги скорость движения автомобиля составляла 90 км/ч. Запишите уравнение его движения для двух случаев: а) в начальный момент времени положение автомобиля совпадало с началом координат; б) в начальный момент времени координата автомобиля равнялась −200 м. Считайте, что вектор скорости направлен так же, как и ось OX.

6.18. По прямому шоссе равномерно двигался автобус со скоростью 72 км/ч. Запишите уравнение его движения для двух случаев: а) в начальный момент времени положение автобуса совпадало с началом координат; б) за начало отсчета времени принят момент пребывания автобуса на расстоянии 2 км от начала координат в направлении оси OX. Считайте, что вектор скорости направлен против направления оси OX.

6.19. Уравнение движения лыжника имеет вид: $x = -10 + 5t$. Охарактеризуйте движение, укажите его параметры и определите: а) координату лыжника через 4 с от начала наблюдения; б) координату лыжника за 2 с до начала наблюдения; в) промежуток времени от начала наблюдения, через который лыжник будет на расстоянии 20 м от начала координат. Решите задачу аналитически и графически.

6.20. Уравнениями $x_1 = 20t$ и $x_2 = 700 + 6t$ заданы соответственно движение автобуса и движение велосипедиста. Охарактеризуйте движение каждого из них, а также определите: а) место и время, когда автобус догонит велосипедиста; б) координаты автобуса и велосипедиста через 25 с от начала наблюдения; в) промежуток времени от начала наблюдения, через который расстояние между ними будет составлять 140 м. Решите задачу аналитически и графически.

6.21. Радостная собака встречает своего хозяина. Уравнения движения собаки и хозяина имеют вид: $x_1 = 11{,}5t$ и $x_2 = 800 - t$ соответственно. Охарактеризуйте дви-

жение каждого из них, а также определите: а) место их встречи и время, через которое произойдет встреча; б) координаты собаки и хозяина через 10 с от начала наблюдения; в) промежуток времени от начала наблюдения, через который расстояние между хозяином и собакой будет составлять 200 м.

6.22. Из пунктов А и В, расстояние между которыми 216 км, навстречу друг другу движутся мотоциклист и велосипедист со скоростями 72 км/ч и 10 м/с соответственно. Где и когда они встретятся?

6.23. Из Киева на юг отправился товарный поезд со скоростью 54 км/ч, а через 2 ч в том же направлении отправился экспресс со скоростью 99 км/ч. За какое время и на каком расстоянии от Киева экспресс догонит товарный поезд?

6.24. Легковой и грузовой автомобили движутся равномерно прямолинейно в одном направлении со скоростями 72 км/ч и 54 км/ч соответственно. Определите, на каком расстоянии от своего начального положения легковой автомобиль догонит грузовик, если в начальный момент времени он отставал от грузовика на 1 км. Сколько времени ему понадобится? Решите задачу аналитически и графически.

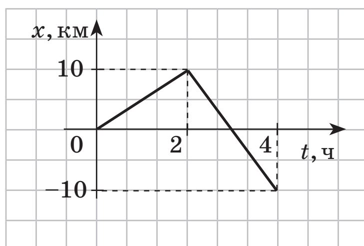
? 6.25. Моторная лодка равномерно плывет против течения по прямолинейному участку реки из пункта *A* в пункт *B* и возвращается назад в пункт А. Постройте приблизительные графики зависимости перемещения и пути лодки от времени.

? 6.26. Почтальон равномерно прямолинейно едет на велосипеде в село и возвращается назад на почту. Постройте приблизительные графики зависимости пути и модуля перемещения почтальона от времени, если в течение всей поездки дул постоянный ветер в направлении села.

? 6.27. Два автомобиля движутся равномерно прямолинейно в одном направлении, причем скорость первого втрое больше скорости второго. Чем отличаются графики: а) их перемещений; б) путей; в) скоростей? Проверьте свои соображения построением соответствующих графиков.

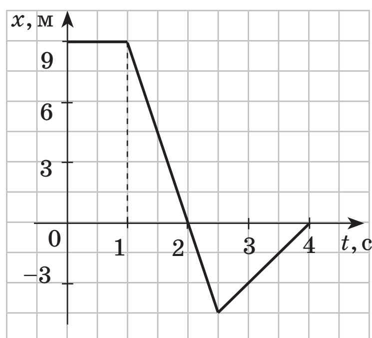
? 6.28. Два поезда движутся равномерно прямолинейно навстречу друг другу, причем скорость первого вдвое больше скорости второго. Чем отличаются графики: а) их координат; б) путей; в) скоростей? Проверьте свои соображения построением соответствующих графиков.

6.29. На рисунке приведен график движения тела. Какой путь прошло это тело, какое перемещение оно осуществило?

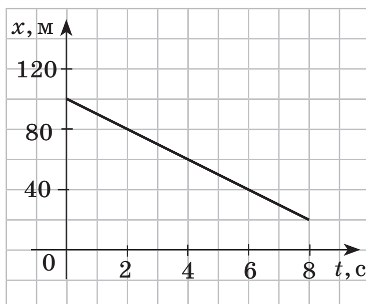


6.30. Какой путь и какое перемещение осуществило тело, график движения которого приведен на рисунке?

6.31. По графику движения трамвая (см. рисунок) определите: а) направление его движения; б) начальную координату; в) положение через $t_1 = 6$ с от начала движения; г) путь, пройденный за время движения; д) скорость движения; е) уравнение движения трамвая.



К задаче 6.30

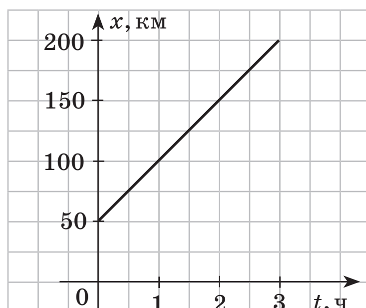


К задаче 6.31

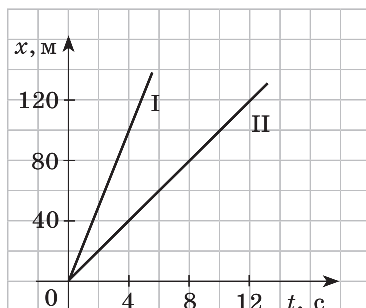
6.32. По графику движения автобуса (см. рисунок) определите: а) направление его движения; б) начальную координату автобуса; в) время, через которое он будет на расстоянии 100 км от начала координат; г) положение автобуса

через $t = 3$ ч от начала движения; д) скорость движения автобуса; е) его перемещение с момента $t_1 = 1$ ч до момента $t_2 = 3$ ч; ж) уравнение движения автобуса.

6.33. На рисунке представлены графики движения двух тел. Определите: а) скорость движения каждого тела; б) расстояние между ними через 3 с после начала отсчета времени; в) через какое время после начала отсчета времени расстояние между телами будет составлять 60 м; г) уравнение движения каждого тела.

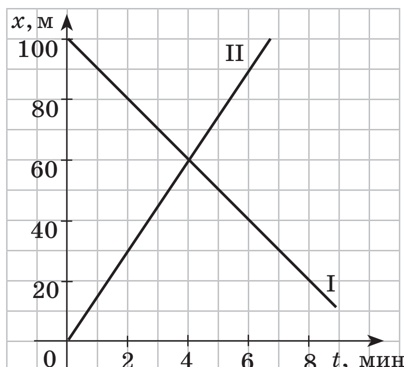


К задаче 6.32



К задаче 6.33

6.34. На рисунке представлены графики движения двух автомобилей. Охарактеризуйте движение каждого из них и определите: а) место и время встречи автомобилей; б) расстояние между ними через 2 мин после начала отсчета времени; в) положение каждого автомобиля через 5 мин после начала отсчета времени; г) уравнение движения автомобилей.



3-й уровень сложности

6.35. С какой скоростью должна двигаться нефть в трубопроводе с площадью поперечного сечения 100 $см^2$, чтобы за час по трубопроводу протекало 18 $м^3$ нефти?

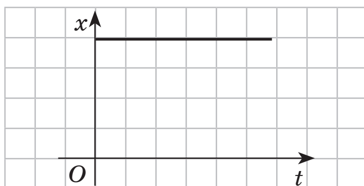
6.36. Поток воды, приводящий в движение колесо мельницы, течет со скоростью 0,5 м/с по каналу, ширина которого 1,5 м, а глубина — 0,6 м. Сколько воды падает на колесо мельницы каждую секунду?

6.37. Из города с интервалом в 4 мин в одном направлении выехали два велосипедиста с одинаковой скоростью, равной 15 км/ч. Определите скорость туриста, который шел им навстречу, если он встретил велосипедистов с интервалом в 3 мин.

6.38. Автомобиль за 45 мин обогнал два рейсовых автобуса, которые двигались с интервалом 30 мин, со скоростью 60 км/ч. С какой скоростью двигался автомобиль?

6.39. Интервал между встречами пассажирского экспресса, движущегося со скоростью 120 км/ч, с двумя электропоездами, которые ехали навстречу ему с одинаковой скоростью 80 км/ч, составил 20 мин. Определите интервал движения электропоездов.

? **6.40.** На рисунке представлен график зависимости координаты тела от времени. Можно ли утверждать, что тело находится в состоянии покоя, если других сведений о его движении нет?

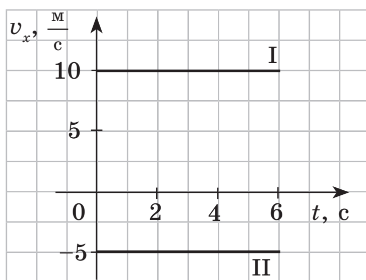


6.41. Движение тела можно описать в плоскости XOY уравнениями: $x = 4 + 3t$, $y = 5 - 6t$. Запишите уравнение траектории движения этого тела, т. е. зависимость y от x.

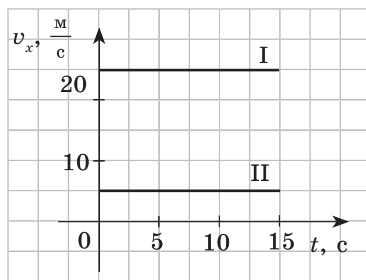
6.42. Движение велосипедиста в плоскости XOY изменяется согласно уравнениям $x = -5t$ и $y = 8 + 2t$. Запишите уравнение траектории движения велосипедиста и постройте траекторию его движения.

6.43. На рисунке представлены графики скоростей движения двух катеров. Постройте графики движения этих катеров, по которым определите место и время их встречи, если известно, что в начальный момент времени координаты катеров имели значения 0 м и 75 м соответственно.

6.44. На рисунке представлены графики скорости двух поездов. Постройте графики движения этих поездов, по которым определите место и время, когда начнется обгон одного поезда другим, если известно, что в момент начала отсчета времени их координаты имели значение 100 м и 400 м соответственно.



К задаче 6.43



К задаче 6.44

7. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Примеры решения задач

Задача 1. Вагон шириной 2,4 м, движущийся равномерно прямолинейно со скоростью 54 км/ч, был пробит пулей, летевшей перпендикулярно к направлению движения вагона. Отверстия от пули в стенках вагона смещены друг относительно друга на 6 см. Определите скорость движения пули.

Дано:	СИ
$d = 2{,}4$ м	
$v = 54\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$v = 15\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$l = 6$ см	$l = 6 \cdot 10^{-2}$ м
u — ?	

Решение

Задача связана с относительностью движения вагона и пули.

Время движения пули, которое мы будем считать равномерным прямолинейным (пренебрежем изменением скорости пули во время ее

взаимодействия со стенками вагона), в вагоне: $t_1 = \frac{d}{u}$, где u — скорость движения пули; время перемещения вагона на расстояние l (именно этим перемещением обусловлено смещение входного и выходного отверстий пули): $t_2 = \frac{l}{v}$, где v — скорость движения вагона.

Поскольку $t_1 = t_2$, то $\frac{d}{u} = \frac{l}{v}$, откуда $u = \frac{dv}{l}$.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[u] = \frac{\text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{u\} = \frac{2,4 \cdot 15}{6 \cdot 10^{-2}} = 600;$$

$$u = 600 \text{ м/с}.$$

Ответ: скорость пули 600 м/с.

Задача 2. Мальчик бегает по эскалатору. Первый раз он насчитал 50 ступенек, а второй раз, двигаясь в ту же сторону со скоростью, втрое большей относительно эскалатора, насчитал 75 ступенек. Сколько ступенек он насчитал бы на неподвижном эскалаторе?

Дано:	*Решение*
$n_1 = 50$ $n_2 = 75$ $u_2 = 3u_1$	Задача основывается на относительности движения мальчика и эскалатора.
n — ?	Пусть v — модуль скорости эскалатора, l — его длина, n — количество ступенек на неподвижном эскалаторе. Очевидно, что на единицу длины эскалатора приходится $\frac{n}{l}$ ступенек.

Выясним также, как направлены скорости мальчика и эскалатора. Если бы мальчик бежал против движения эскалатора, то, увеличив свою скорость, он насчитал бы меньше ступенек, но из условия видно, что мальчик, двигаясь с большей скоростью, насчитал больше ступенек, следовательно, он двигался по ходу эскалатора. Скорость его движения относительно земли по

закону сложения скоростей будет равна: $u+v$, время движения: $t=\frac{l}{u+v}$, соответственно перемещение относительно эскалатора: $s=ut=\frac{ul}{u+v}$.

Если на единицу длины эскалатора приходится $\frac{n}{l}$ ступенек, то на пути s мальчик их насчитает $s\cdot\frac{n}{l}$.

Таким образом, в первом случае: $n_1=\frac{u_1 l}{u_1+v}\cdot\frac{n}{l}=\frac{u_1 n}{u_1+v}$, во втором: $n_2=\frac{u_2 l}{u_2+v}\cdot\frac{n}{l}=\frac{3u_1 n}{3u_1+v}$.

Мы получили систему уравнений, которую можно записать так:

$$\begin{cases}\frac{n}{n_1}=\frac{u_1+v}{u_1},\\ \frac{n}{n_2}=\frac{3u_1+v}{3u_1}\end{cases} \text{ или } \begin{cases}\frac{n}{n_1}=1+\frac{v}{u_1},\\ \frac{n}{n_2}=1+\frac{1}{3}\cdot\frac{v}{u_1}.\end{cases}$$

Домножим второе уравнение на 3 и вычтем из него первое уравнение. Получим: $2=\frac{3n}{n_2}-\frac{n}{n_1}$, откуда $n=\frac{2n_1 n_2}{3n_1-n_2}$.

Найдем значение искомой величины:

$$n=\frac{2\cdot 50\cdot 75}{3\cdot 50-75}=100.$$

Ответ: мальчик на неподвижном эскалаторе насчитает 100 ступенек.

1-й уровень сложности

? **7.1.** Пассажир сидит в закрытой каюте теплохода, который движется по озеру равномерно прямолинейно. Сможет ли пассажир, не выходя из каюты (с помощью механических опытов), определить направление движения теплохода?

? **7.2.** По вагону поезда в направлении его движения идет человек. Какое из двух тел — вагон или человек — имеет большую скорость относительно земли?

? 7.3. Экспресс движется на юг. В каком направлении относительно поверхности земли летит вертолет, если пассажиру вертолета кажется, что поезд неподвижен?

? 7.4. В фильме «Скорость» пассажиров автобуса эвакуируют на автоплатформу, движущуюся рядом с автобусом. В каком направлении и с какой скоростью движется автоплатформа относительно поверхности земли?

7.5. По реке против течения, скорость которого 0,5 м/с, плывет лодка, скорость движения которой относительно воды 4,5 м/с. Определите скорость движения лодки относительно берега. Какой путь относительно берега она преодолеет за 5 мин?

7.6. По реке по течению, скорость которого 3 м/с, плывет пароход, скорость движения которого относительно берега 36 км/ч. Определите скорость движения парохода относительно воды. За какое время пароход пройдет относительно берега 70 м?

2-й уровень сложности

7.7. Мальчик переплывает реку, ширина которой 75 м, со скоростью 1,5 м/с относительно воды, причем он плывет перпендикулярно к течению, скорость которого 2 м/с. Определите скорость движения мальчика относительно берега. На сколько метров ниже по течению мальчик выйдет из воды? Какое перемещение он осуществит за это время?

7.8. Мостовой кран в течение 10 с поднимает груз со скоростью 15 м/мин и одновременно перемещает его в горизонтальном направлении со скоростью 0,3 м/с. Определите перемещение груза относительно земли.

7.9. Между двумя пунктами, расположенными на расстояния 100 км друг от друга, по реке курсирует катер, преодолевающий это расстояние за 4 ч, если плывет по течению, и за 10 ч — если против течения. Определите скорость течения и скорость движения катера относительно воды.

7.10. Пароход по реке преодолевает расстояние между двумя городами за 6 ч, когда движется по течению, и за 8 ч — когда против течения. За какое время преодолеет расстояние между этими городами плот?

7.11. За 1,5 ч катер преодолевает расстояние между двумя пристанями, которое составляет 18 км. За какое время он пройдет обратной путь, если скорость течения 3 км/ч?

7.12. Эскалатор метро движется со скоростью 0,75 м/с. За какое время пассажир поднимется по эскалатору длиной 50 м, если он идет в направлении его движения со скоростью 0,25 м/с относительно ленты эскалатора?

7.13. Пассажир поднимается пешком по неподвижному эскалатору за 2,5 мин, а если идет по подвижному — за 50 с. За какое время эскалатор поднимет пассажира, который стоит на нем?

7.14. Эскалатор метро поднимает неподвижного пассажира за 1,5 мин. Пассажир по неподвижному эскалатору поднимается за 2,5 мин. За какое время поднимется пассажир, идущий по подвижному эскалатору?

7.15. Велосипедист обгоняет армейскую колонну длиной 300 м, двигаясь со скоростью 18 км/ч. За какое время он осуществит обгон, если колонна движется со скоростью 4,5 км/ч?

7.16. Пассажирский поезд, скорость движения которого 108 км/ч, и товарный, который движется со скоростью 54 км/ч, едут по параллельным колеям в одном направлении. За какое время состоится обгон, если длина поездов равняется соответственно 120 м и 180 м?

7.17. Два поезда движутся навстречу друг другу. Пассажир первого замечает, что второй поезд, длина которого 150 м, проходит мимо него за 6 с. С какой скоростью движется второй поезд, если скорость первого 36 км/ч?

3-й уровень сложности

? **7.18.** Водитель, садясь в автомобиль с откидным верхом, выяснил по наклону деревьев, что ветер дует с севера. Когда же он поехал на юг, то вскоре ощутил, что ветер дует ему в лицо. Как это объяснить, учитывая, что направление ветра не изменилось?

? **7.19.** От пристани в противоположных направлениях одновременно отплывают лодка и плот. Через 15 мин лодка мгновенно разворачивается и плывет назад. Сколько времени ей понадобится, чтобы догнать плот?

7.20. Плот длиной 16 м плывет по реке со скоростью 0,8 м/с. Вдоль плота равномерно движется человек, который за 20 с проходит его от одного края до другого и возвращается назад. Найдите скорость движения, перемещение и пройденный человеком путь: а) относительно плота; б) относительно берега.

7.21. Плот шириной 12 м плывет по реке со скоростью 1,5 м/с. Поперек плота равномерно движется человек, который за 16 с проходит его от одного края до другого и возвращается назад. Найдите скорость движения, перемещение и пройденный человеком путь: а) относительно плота; б) относительно берега.

7.22. Два тела движутся равномерно прямолинейно навстречу друг другу. При этом расстояние между ними каждые 3 с уменьшается на 240 м. На сколько будет увеличиваться расстояние между ними каждые 4 с, если тела будут двигаться в одном направлении? Известно, что скорость движения одного из тел 50 м/с.

7.23. Из пунктов *A* и *B*, расстояние между которыми 500 м, навстречу друг другу по прямой дороге идут два брата с одинаковой скоростью 5 км/ч. От одного брата к другому бежит их собака, которая, добежав, немедленно поворачивает и мчится к первому брату. Это повторяется, пока братья не встретятся. Определите перемещение собаки и пройденный ею путь, если скорость движения собаки 20 км/ч.

8. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Пример решения задач

Задача. Четверть пути автомобиль двигался со скоростью 120 км/ч, а остаток пути — со скоростью 90 км/ч. Определите среднюю путевую скорость движения автомобиля. Считайте, что на каждом из участков автомобиль двигался равномерно.

Дано:

$v_1 = 120\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

$l_1 = \frac{1}{4} l$

$v_2 = 90\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

$v_{\text{ср}}$ — ?

Решение

Средняя путевая скорость определяется по формуле $v_{\text{ср}} = \frac{l}{t}$, причем $l = l_1 + l_2$, а $t = t_1 + t_2$. Из условия известно, что $l_1 = \frac{1}{4} l$, а l_2 — остаток пути — может быть найден как $l_2 = l - l_1$, т. е. $l_2 = \frac{3}{4} l$.

Учитывая, что движение на отдельных участках равномерно, найдем $t_1 = \frac{l_1}{v_1} = \frac{l}{4v_1}$ и $t_2 = \frac{l_2}{v_2} = \frac{3l}{4v_2}$, тогда все время движения

$$t = \frac{l}{4v_1} + \frac{3l}{4v_2} = \frac{l(v_2 + 3v_1)}{4v_1 v_2}.$$

После подстановки в формулу средней скорости получим

$$v_{\text{ср}} = \frac{l \cdot 4v_1 v_2}{l(v_2 + 3v_1)} = \frac{4v_1 v_2}{v_2 + 3v_1}.$$

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[v_{\text{ср}}] = \frac{\frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \frac{\text{км}}{\text{ч}}}{\frac{\text{км}}{\text{ч}} + \frac{\text{км}}{\text{ч}}} = \frac{\text{км}}{\text{ч}};$$

$$\{v_{\text{ср}}\} = \frac{4 \cdot 120 \cdot 90}{90 + 360} = 96;$$

$$v_{\text{ср}} = 96\ \text{км/ч}.$$

Ответ: средняя скорость движения автомобиля на всем пути составляла 96 км/ч.

1-й уровень сложности

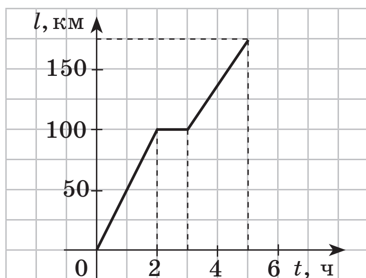
? **8.1.** Может ли средняя путевая скорость движения тела по модулю равняться средней скорости перемещения?

8.2. Вагон, двигаясь под уклон, преодолел 120 м за 10 с. Скатившись с горки, он прошел до полной остановки еще 360 м за 1,5 мин. Определите среднюю скорость движения вагона.

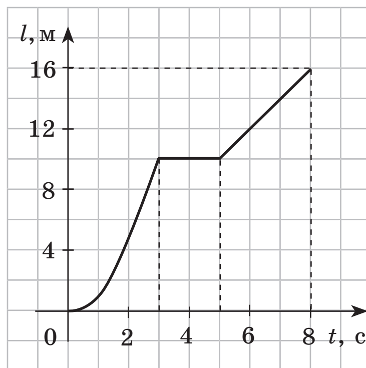
8.3. В течение 12 с велосипедист двигался со скоростью 18 км/ч, в течение следующих 25 с — со скоростью 4 м/с. Какой была средняя скорость его движения?

8.4. На рисунке представлен график зависимости пути, пройденного автомобилем, от времени. Определите скорость движения автомобиля на каждом участке и среднюю скорость его движения.

8.5. На рисунке представлен график зависимости пройденного телом пути от времени. Охарактеризуйте движение тела. Определите среднюю скорость его движения на всем пути.



К задаче 8.4



К задаче 8.5

2-й уровень сложности

8.6. Расстояние между городами составляет 6000 км. Самолет, преодолев 4000 км со скоростью 800 км/ч, совершил вынужденную посадку на промежуточном аэродроме. Через 3 ч он вылетел с этого аэродрома и за 4 ч долетел до пункта назначения. Определите среднюю скорость перемещения самолета.

8.7. Расстояние между пунктами A и B составляет 360 км. Автобус проехал первые 120 км за 2 ч; остаток пути он ехал со скоростью 80 км/ч. Какой была средняя скорость движения автобуса?

8.8. Велосипедист, двигаясь со скоростью 24 км/ч, успел проехать 36 км, прежде чем его велосипед сломался. Час он пытался отремонтировать велосипед, а когда из этого ничего не вышло, отправился домой. Пройдя 10 км со скоростью 5 км/ч, он остановил попутную машину и за полчаса возвратился домой. Определите среднюю путевую скорость движения велосипедиста.

8.9. Поднимаясь на гору, лыжник прошел 3 км со средней скоростью 5,4 км/ч, а отдохнув на горе 15 мин, спустился по другому склону, преодолев 1 км со средней скоростью 10 м/с. Определите среднюю скорость движения лыжника на всем пути.

8.10. Во время соревнований велосипедист проехал первый круг со скоростью 25 км/ч, а второй — со скоростью 30 км/ч. Какой была средняя скорость движения велосипедиста на всем пути?

8.11. Первую половину беговой дорожки спортсмен пробежал со скоростью 27 км/ч. С какой скоростью он двигался на второй половине дистанции, если средняя скорость его движения составила 18 км/ч?

8.12. Треть пути экспресс двигался со скоростью 90 км/ч, следующую треть пути — со скоростью 150 км/ч, а последнюю треть скорость его движения составляла 120 км/ч. Какой была средняя скорость движения экспресса?

8.13. Треть пути турист двигался со скоростью 5 км/ч, а остаток пути скорость его движения составляла 4 км/ч. Определите среднюю скорость движения туриста на всем пути.

8.14. Треть времени поезд двигался со скоростью 72 км/ч, следующую треть времени — со скоростью 50 км/ч, а последнюю треть скорость его движения составляла 58 км/ч. Какой была средняя скорость движения поезда?

8.15. Четверть всего затраченного времени турист шел со скоростью 5 км/ч, а остаток времени ехал на лошади со скоростью 20 км/ч. Определите среднюю скорость движения туриста.

3-й уровень сложности

8.16. Во сколько раз отличаются средние скорости движения автомобиля на одном и том же участке пути в двух случаях: в одном случае первую половину затраченного времени он ехал со скоростью 40 км/ч, а вторую половину времени — со скоростью 60 км/ч; во втором случае автомобиль проехал первую и вторую половины пути с теми же самыми скоростями, что и в первом случае?

9. РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

Примеры решения задач

Задача 1. Координата тела, движущегося вдоль оси OX, изменяется в соответствии с уравнением $x=8+5t-1{,}25t^2$. Определите параметры движения, охарактеризуйте его и постройте график зависимости $v_x(t)$.

Дано:
$x=8+5t-1{,}25t^2$

x_0 — ?
v_{0x} — ?
a_x — ?
$v_x(t)$ — ?

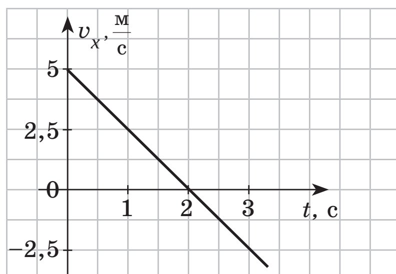
Решение

Приведенное уравнение соответствует уравнению равноускоренного прямолинейного движения, которое имеет общий вид: $x=x_0+v_{0x}t+\frac{a_xt^2}{2}$. Считая, что все величины даны в СИ, видим, что $x_0=8$ м, $v_{0x}=5$ м/с, $a_x=-2{,}5$ м/с^2.

Формула мгновенной скорости при равноускоренном движении имеет вид: $v_x=v_{0x}+a_xt$, следовательно, в нашем случае $v_x=5-2{,}5t$.

Составим таблицу и построим график скорости (см. рисунок).

t, с	0	2
v_x, м/с	5	0

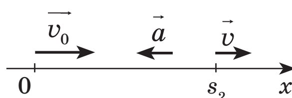


Из параметров движения тела и графика скорости делаем вывод: тело движется в направлении координатной оси OX $(v_{0x} > 0)$ равноускоренно $(a_x < 0)$; через 2 с после начала наблюдения тело останавливается, после чего движется равноускоренно ($|v_x|$ линейно возрастает) против координатной оси $(v_x < 0)$.

Задача 2. За 50 м до въезда на мост мотоциклист, который до того двигался со скоростью 54 км/ч, начал тормозить. Тормозное ускорение по модулю равняется 2 м/с^2. Нарушил ли водитель правила, если перед въездом на мост стоит знак ограничения скорости 10 км/ч?

Дано:	СИ
$v_0 = 54\ \frac{км}{ч}$	$v_0 = 15\ \frac{м}{с}$
$s = 50$ м	
$a = 2\ \frac{м}{с^2}$	
$v = 10\ \frac{км}{ч}$	$v \approx 2{,}8\ \frac{м}{с}$
$s_{торм}$ — ?	

Решение



Чтобы ответить на вопрос, поставленный в задаче, можно, например, найти тормозной путь мотоциклиста.

Движение по условию равноускоренное, перемещение мотоциклиста может быть найдено по формуле $s_{x\,торм} = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ или, учитывая, что $v_{0x} = v_0$, $a_x = -a$, $v_x = v$, $s_x = s$, получим:

$$s_{торм} = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}.$$

Проверим единицы и определим числовое значение тормозного пути:

$$\left[s_{торм}\right] = \frac{\frac{м^2}{с^2} - \frac{м^2}{с^2}}{\frac{м}{с^2}} = м; \quad \left\{s_{торм}\right\} = \frac{15^2 - 2{,}8^2}{2 \cdot 2} \approx 54; \quad s_{торм} \approx 54 \text{ м}.$$

Видим, что необходимый тормозной путь больше расстояния, которое осталось до моста.

Ответ: мотоциклист нарушил правила движения.

1-й уровень сложности

9.1. Поезд отправляется от станции метро. За какое время он достигнет скорости 72 км/ч, если разгоняется с ускорением 1 м/с^2?

9.2. Реактивный самолет совершает посадку на аэродром, имея скорость 324 км/ч. Сколько времени пройдет до его остановки, если самолет движется с ускорением 9 м/с^2?

9.3. Мотоциклист при торможении движется с ускорением 0,5 м/с^2 и останавливается через 20 с после начала торможения. Какой была начальная скорость движения мотоциклиста?

9.4. Определите положение велосипедиста через 0,5 мин после старта, если велосипедист движется с ускорением 0,25 м/с^2.

9.5. Байдарка, двигаясь равномерно прямолинейно, плыла со скоростью 6 м/с. После прохождения финиша спортсмены опустили весла, и дальше байдарка двигалась с постоянным ускорением 0,5 м/с^2. На каком расстоянии от линии финиша байдарка окажется через 4 с?

9.6. Троллейбус, двигавшийся со скоростью 18 км/ч, остановился за 4 с. Определите ускорение его движения и тормозной путь троллейбуса.

9.7. Самолет за 14 с увеличил свою скорость со 108 км/ч до 360 км/ч. Какими при этом были ускорение его движения и перемещение, если самолет двигался равноускоренно прямолинейно?

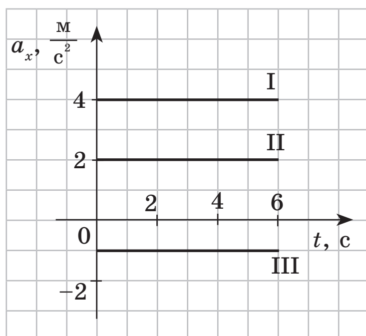
9.8. Зависимость скорости движения тела от времени имеет вид: $v_x = 2 + 1{,}5t$. Охарактеризуйте движение тела и определите параметры этого движения.

9.9. Скорость движения тела изменяется согласно уравнению $v_x = 50 - 4t$. Охарактеризуйте движение тела и определите параметры этого движения.

9.10. Координата движущегося тела изменяется согласно уравнению $x = 4t + 1{,}5t^2$. Охарактеризуйте движение тела, определите параметры этого движения и запишите уравнение зависимости скорости движения от времени.

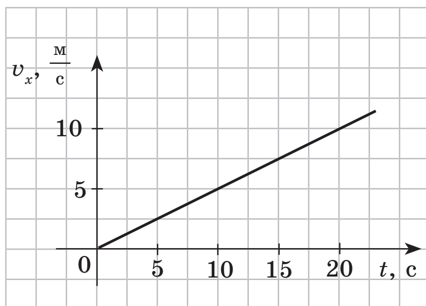
9.11. Уравнение движения тела имеет вид: $x = 8 - 5t + 5t^2$. Охарактеризуйте движение тела, определите параметры этого движения и запишите уравнение зависимости скорости от времени.

? **9.12.** По графикам зависимости $a_x(t)$ для нескольких тел (см. рисунок) охарактеризуйте движение каждого тела, если начальные скорости движения всех тел одинаковы, направлены в сторону оси OX и имеют значение 5 м/с.

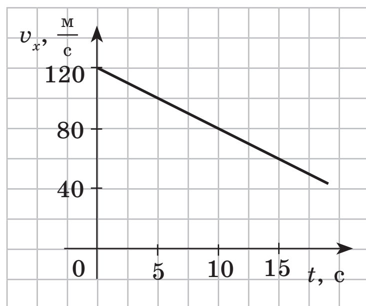


9.13. По графику зависимости скорости от времени, приведенному на рисунке, охарактеризуйте движение тела, определите начальную скорость и ускорение его движения и запишите уравнение зависимости скорости от времени: $v_x = v_x(t)$.

9.14. На рисунке приведен график зависимости скорости движения тела от времени. Охарактеризуйте движение тела, определите начальную скорость и ускорение его движения и запишите уравнение зависимости скорости от времени: $v_x = v_x(t)$.



К задаче 9.13



К задаче 9.14

2-й уровень сложности

9.15. Космический корабль разгоняется из состояния покоя до скорости 11 км/с, преодолев 200 км. С каким ускорением он движется?

9.16. С какой максимальной скоростью должен зайти на посадку самолет, чтобы приземлиться на полосе длиной 850 м, если тормозное ускорение равно 4 м/с^2?

9.17. Автомобиль движется равномерно по горизонтальному участку дороги со скоростью 36 км/ч. Включив другую передачу, водитель через 525 м увеличил скорость до 90 км/ч. С каким ускорением двигался автомобиль на этом участке?

9.18. Пуля, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, попадает в деревянный бруствер и застряет в нем на глубине 10 см. Сколько времени двигалась пуля в бруствере? На какой глубине ее скорость уменьшилась вдвое против начальной? Считайте движение пули в бруствере равноускоренным.

9.19. Лыжник спускается с горы, длина которой 108 м, с начальной скоростью 6 м/с и ускорением 0,5 м/с^2. Сколько времени длился спуск? Какой скорости достиг лыжник в конце спуска?

9.20. Поезд в начале спуска длиной 340 м имел скорость 54 км/ч и спустился за 20 с. С каким ускорением двигался поезд и какую скорость развил в конце спуска?

9.21. Двигаясь равноускоренно из состояния покоя, грузовик на некотором расстоянии приобрел скорость 36 км/ч. Какую скорость он имел посредине этого пути?

9.22. Шарик из состояния покоя скатывается с горки длиной L за время t. Во сколько раз отличается мгновенная скорость движения шарика посередине горки от средней скорости движения шарика на всей горке?

9.23. Санки из состояния покоя съезжают с гладкой горки длиной L за время t. Во сколько раз средняя скорость движения санок меньше скорости их движения в конце горки?

9.24. Зависимость скорости движения автомобиля от времени выражается уравнением $v_x = 20 - 2,5t$. Охарактеризуйте движение автомобиля, определите начальную скорость и ускорение его движения, постройте график скорости.

9.25. Скорость движения велосипедиста зависит от времени согласно уравнению $v_x = -5 - 3t$. Охарактеризуйте движение велосипедиста, определите начальную скорость и ускорение его движения и постройте график скорости.

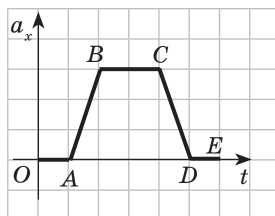
9.26. Охарактеризуйте движение тел, зависимости скорости которых от времени заданы уравнениями: $v_x = 4t$ и $v_x = 8 - 2t$. Постройте графики скоростей движения этих тел.

9.27. За 5 с скорость движения мотоциклиста увеличилась от 36 км/ч до 54 км/ч. С каким ускорением он двигался? Запишите формулу зависимости скорости от времени и постройте соответствующий график, если мотоциклист двигался равноускоренно.

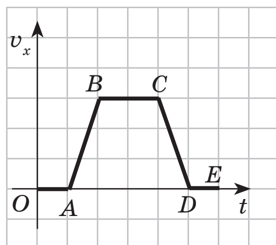
9.28. За 8 с показания спидометра автомобиля изменились со 108 км/ч до 72 км/ч. Определите ускорение, с которым двигался автомобиль. Запишите уравнение, согласно которому изменялась скорость его движения, и постройте график скорости.

9.29. На рисунке представлен график ускорения для тела, которое движется прямолинейно. Охарактеризуйте его движение на каждом участке, если известно, что в начальный момент времени скорость тела равнялась $v_x = 6$ м/с.

9.30. На рисунке приведен график скорости для тела, которое движется прямолинейно. Охарактеризуйте движение тела на каждом участке.

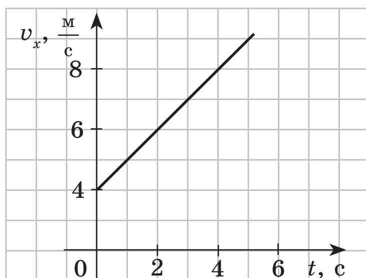


К задаче 9.29

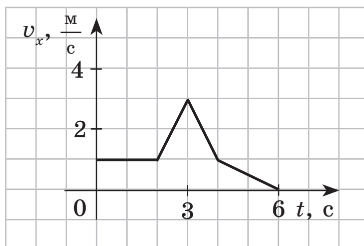


К задаче 9.30

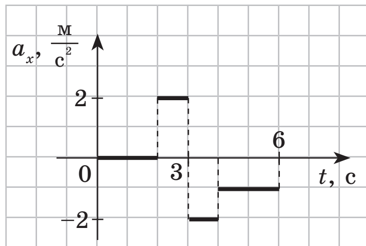
9.31. На рисунке представлен график зависимости скорости от времени. Охарактеризуйте движение тела, определите начальную скорость и ускорение его движения и запишите уравнение зависимости скорости от времени. Определите перемещение, осуществленное телом за первые 5 с.



9.32. На рисунках *а* и *б* представлены графики зависимости скорости v_x и ускорения a_x от времени. Одинаковые ли движения описывают эти графики? По графику зависимости скорости от времени, приведенному на рисунке *а*, определите модуль перемещения тела.



а



б

9.33. Уравнение движения имеет вид: $x = 5 + t + t^2$. Охарактеризуйте движение тела, определите параметры движения данного тела, запишите уравнение зависимости скорости от времени и постройте график этой зависимости.

9.34. Уравнение движения тела имеет вид: $x = 100 - 15t + 2t^2$. Охарактеризуйте движение тела, определите параметры этого движения и постройте график движения тела.

9.35. Движения двух автомобилей описываются уравнениями: $x_1 = 5t + 2t^2$ и $x_2 = 80 - 7t$. Определите: а) где и когда они встретятся; б) расстояние между автомобилями через 5 с после начала движения. Решите задачу аналитически и графически.

9.36. Уравнения движения двух тел имеют вид: $x_1 = 8t + 0{,}5t^2$, $x_2 = -4t + 2t^2$. Определите место и время их встречи. Каким будет расстояние между телами через 4 с после начала движения? Решите задачу аналитически и графически.

3-й уровень сложности

9.37. Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, за 4 с преодолело 48 м. Какой путь оно прошло за четвертую секунду?

9.38. Двигаясь равноускоренно из состояния покоя, автомобиль за пятую секунду прошел 18 м. С каким ускорением двигался автомобиль и какой путь он прошел за 4 с?

9.39. С каким ускорением движется автобус, если за шестую секунду своего равноускоренного движения он прошел 11 м? Начальная скорость движения автобуса равна нулю.

9.40. Отходящий от станции поезд проходит за третью секунду 2,5 м, двигаясь равноускоренно. Определите перемещение, которое осуществил поезд за седьмую секунду.

9.41. При посадке самолет касается поверхности со скоростью 288 км/ч и начинает торможение с постоянным ускорением. За седьмую секунду самолет проходит путь 28 м. Определите ускорение и скорость движения самолета в конце седьмой секунды.

9.42. Снизу вверх вдоль наклонной плоскости толкнули шарик. На расстоянии 80 см от начала движения шарик оказывается дважды: через 1 с и через 4 с после начала движения. Определите ускорение и начальную скорость движения шарика, считая его движение равноускоренным.

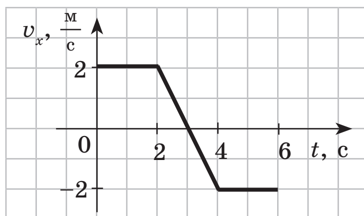
9.43. Снизу вверх вдоль наклонной плоскости толкнули шарик. В точке A шарик оказывается дважды: через 1 с и через 3 с после начала своего равноускоренного движения. Какая скорость была придана шарику, если расстояние от верхней точки его траектории до начальной точки составляет 1 м?

9.44. Два катера плывут по озеру навстречу друг другу из пунктов *A* и *B*, расстояние между которыми 150 м. Через какое время и на каком расстоянии от пункта *A* они встретятся, если начальные скорости их движения соответственно равны 14,4 км/ч и 21,6 км/ч, а ускорения одинаковы по модулю и имеют значение 0,5 м/с^2?

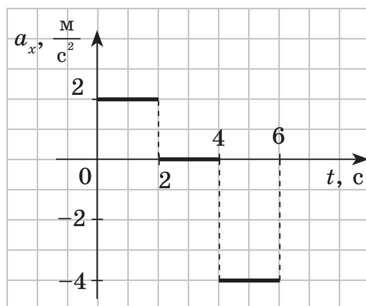
9.45. Навстречу друг другу движутся два поезда, начальное расстояние между которыми 1 км. Первый поезд движется равноускоренно в направлении координатной оси с начальной скоростью 36 км/ч и ускорением 2 м/с^2. Второй поезд, начальная скорость движения которого 54 км/ч, тормозит с постоянным ускорением, модуль которого 1 м/с^2. Где и когда встретятся поезда?

9.46. От автовокзала в одном направлении отправляются два автобуса. Один из них выезжает на 20 с позднее. Ускорения, с которыми движутся автобусы, одинаковы и равняются 0,4 м/с^2. Через какое время после начала движения первого автобуса расстояние между ними будет составлять 240 м?

9.47. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости v_x для тела, которое движется прямолинейно, от времени. Постройте график зависимости от времени: а) проекции ускорения a_x; б) координаты x; в) пройденного пути l. Считайте, что начальная координата тела равна нулю.

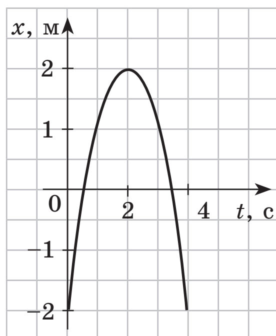


9.48. На рисунке представлен график зависимости проекции ускорения a_x для тела, которое движется прямолинейно, от времени. Постройте график зависимости от времени: а) проекции скорости v_x; б) координаты x; в) пройденного пути l. Считайте, что начальная координата и скорость движения тела равны нулю.

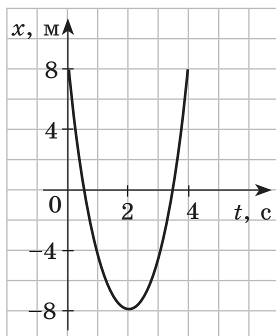


9.49. Графиком движения тела является парабола, представленная на рисунке. Запишите уравнение зависимости от времени координаты этого тела, скорости и ускорения движения.

9.50. Графиком движения тела является парабола, представленная на рисунке. Запишите уравнение зависимости от времени координаты этого тела, скорости и ускорения движения.



К задаче 9.49



К задаче 9.50

10. СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ

Примеры решения задач

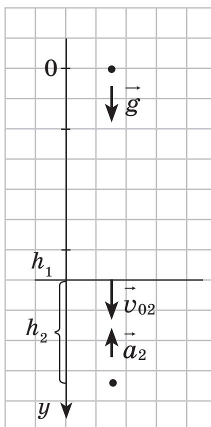
Задача 1. Спортсмен прыгнул с восьмиметровой вышки, войдя в воду на глубину 2,5 м. С каким ускорением и в течение какого времени он двигался в воде до остановки? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с². Сопротивлением воздуха пренебрегите .

Дано:
$v_{01} = 0$
$h_1 = 8$ м
$g = 9{,}8$ м/с²
$v_2 = 0$
$h_2 = 2{,}5$ м

---

a_2 — ?
t_2 — ?

Решение



На первом участке движение спортсмена можно считать свободным падением, следовательно, $h_1 = \frac{v_1^2}{2g}$, где v_1 — конечная скорость спортсмена на этом участке. Она же является начальной скоростью для второго участка его движения и равняется: $v_1 = \sqrt{2gh_1} = v_{02}$.

На втором участке движение спортсмена является равноускоренным с ускорением $a_{2y} = -a_2$ до остановки ($v_2 = 0$), после чего начнется подъем.

Перемещение на этом участке будет (после проектирования векторов): $h_2 = \frac{v_2^2 - v_{02}^2}{-2a_2} = \frac{-v_{02}^2}{-2a_2} = \frac{v_{02}^2}{2a_2}$, откуда $a_2 = \frac{v_{02}^2}{2h_2}$; после подстановки выражения для v_{02} будем иметь: $a_2 = \frac{2gh_1}{2h_2} = \frac{gh_1}{h_2}$.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[a_2] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \{a_2\} = \frac{9{,}8 \cdot 8}{2{,}5} \approx 31; \quad a_2 \approx 31 \text{ м/с}^2.$$

По определению ускорения $a_{2y} = \frac{v_{2y} - v_{02y}}{t_2}$, или $-a_2 = \frac{-v_{02}}{t_2}$, откуда $t_2 = \frac{v_{02}}{a_2}$; после подстановки выражения для v_{02} имеем:

$$t_2 = \frac{\sqrt{2gh_1}}{a_2}.$$

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[t_2] = \frac{\sqrt{\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{с};$$

$$\{t_2\} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 8}}{31} \approx 0{,}4;$$

$$t_2 \approx 0{,}4 \text{ с}.$$

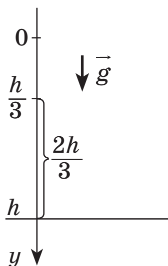
Ответ: ускорение в воде $a_2 \approx 31$ м/с^2; время движения в воде $t_2 \approx 0{,}4$ с.

Задача 2. Тело свободно падает и за последнюю секунду преодолевает $\frac{2}{3}$ всего пути. С какой высоты и сколько времени падало тело? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

Дано:
$t_{\text{посл}} = 1$ с
$h_{\text{посл}} = \frac{2h}{3}$
$g = 9{,}8$ м/с^2

t — ?
h — ?

Решение



Если тело за последнюю секунду преодолело $\frac{2}{3}$ всего пути, то путь, пройденный им до последней секунды, будет представлять $\frac{h}{3}$, а затраченное на это время $t - t_{\text{посл}}$.

Запишем уравнение движения тела на всем пути и до последней секунды. Они будут иметь вид:

$$\begin{cases} h = \dfrac{gt^2}{2}, & (1) \\ \dfrac{h}{3} = \dfrac{g\left(t - t_{\text{посл}}\right)^2}{2}. & (2) \end{cases}$$

Решим полученную систему уравнений относительно t:

$$\frac{gt^2}{2} = \frac{3g\left(t - t_{\text{посл}}\right)^2}{2}.$$

После сокращений и раскрытия скобок будем иметь:

$$t^2 = 3t^2 - 6t_{\text{посл}}t + 3t_{\text{посл}}^2, \text{ или } 2t^2 - 6t_{\text{посл}}t + 3t_{\text{посл}}^2 = 0.$$

Решая квадратное уравнение относительно t, получим два корня: $t_1 = \dfrac{3+\sqrt{3}}{2}t_{\text{посл}} \approx 2{,}37$ с и $t_2 = \dfrac{3-\sqrt{3}}{2}t_{\text{посл}} \approx 0{,}65$ с.

Второй корень не имеет смысла, поскольку время полета на всем пути (0,65 с) не может быть меньше, чем время полета на части пути ($t_{\text{посл}} = 1$ с), таким образом, время полета равняется $t \approx 2{,}37$ с.

Теперь можем согласно уравнению (1) определить высоту, с которой упало тело.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[h] = \frac{\text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2} = \text{м};$$

$$\{h\} = \frac{9{,}8 \cdot 2{,}37^2}{2} \approx 27{,}5;$$

$$h \approx 27{,}5 \text{ м}.$$

Ответ: $h \approx 27{,}5$ м; $t \approx 2{,}37$ с.

Примечание. Там, где в условиях задачи специально не оговорено, что ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2, для расчетов можно использовать приблизительное значение: $g \approx 10$ м/с^2.

1-й уровень сложности

10.1. Тело свободно падает на поверхность Земли с высоты 245 м. В течение какого времени оно будет падать?

10.2. Тело с высоты 80 м за 10 с упало на поверхность Луны. Определите ускорение свободного падения на Луне.

10.3. Во время свободного падения тело достигло поверхности Земли за 5 с. Определите скорость движения тела в момент падения и высоту, с которой оно упало. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

10.4. Шарик бросили вертикально вверх со скоростью 25 м/с. На какую максимальную высоту относительно точки броска он поднимется?

10.5. Струя воды из брандспойта, направленного вертикально вверх, достигла высоты 16,2 м. С какой скоростью вытекает вода из брандспойта?

2-й уровень сложности

10.6. Из вертолета, который равномерно спускался со скоростью 6 м/с, сбросили пакет. Через 8 с тот упал на поверхность Земли. Определите высоту, с которой был сброшен пакет.

10.7. С воздушного шара, который равномерно поднимался со скоростью 5 м/с, на высоте 200 м сбросили груз. Как долго он будет падать?

10.8. Мяч бросили вертикально вниз с высоты 150 м. С какой скоростью его бросили, если мяч упал через 5 с? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

10.9. Тело свободно падает с высоты 10 м. Одновременно с высоты 20 м вертикально вниз бросают другое тело. На землю оба тела упали одновременно. С какой начальной скоростью бросили второе тело? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

10.10. Тело свободно падает с высоты 80 м. Какой путь пройдет это тело за последнюю секунду падения?

10.11. Камень свободно падает с высоты 100 м. Какой путь он преодолеет за последние 2 с падения?

10.12. Тело свободно падает с высоты 196 м. Какой путь преодолело это тело за вторую половину времени полета?

10.13. Тело упало с высоты 45 м. За какое время тело преодолело последний метр?

10.14. Камень падает в ущелье глубиной 150 м. Сколько времени происходило падение камня на второй половине пути?

10.15. Мяч, который бросили с поверхности земли вертикально вверх, упал через 3 с. С какой скоростью бросили мяч и на какую высоту он поднялся?

10.16. Тело, брошенное с поверхности земли вертикально вверх, упало через 6 с. На какую максимальную высоту оно поднялось?

10.17. Тело, которые бросили вертикально вверх, возвратилось к уровню броска со скоростью 20 м/с. На какую максимальную высоту относительно этого уровня поднималось тело? Сколько времени оно находилось в полете?

10.18. С какой начальной скоростью следует бросить мяч вертикально вверх, чтобы через 8 с он падал вниз со скоростью 20 м/с?

10.19. Снаряд, выпущенный из пушки вертикально вверх со скоростью 850 м/с, достиг цели через 4 с. На какой высоте находилась цель и какую скорость имел снаряд в момент ее достижения?

10.20. Тело бросили вертикально вверх с начальной скоростью 25 м/с. Через сколько секунд тело будет на высоте 20 м? Ответ поясните.

10.21. С каким интервалом времени побывало на высоте 35 м тело, брошенное с поверхности земли вертикально вверх со скоростью 40 м/с?

10.22. Мяч бросили вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Сколько времени понадобится для того, чтобы мяч преодолел путь 30 м?

10.23. Над колодцем глубиной 20 м бросают вертикально вверх камень со скоростью 15 м/с. Через сколько секунд он достигнет дна колодца?

3-й уровень сложности

10.24. С каким промежутком времени оторвались от карниза две капли, если через 2 с после начала падения второй капли расстояние между каплями составляло 25 мг?

10.25. Тело бросили с высоты 200 м с начальной скоростью 2 м/с. В течение какого времени падало это тело?

10.26. С какой высоты упало тело, если за последнюю секунду падения оно преодолело 50 м?

10.27. Аэростат начинает подниматься с поверхности земли вверх с ускорением 2,5 м/с^2. Через 4 с после начала движения из аэростата выпадает предмет. В течение какого времени он будет падать?

10.28. С высоты 100 м начал падать камень. Одновременно с поверхности земли навстречу ему бросили вертикально вверх мяч со скоростью 40 м/с. Через какой промежуток времени и на какой высоте над поверхностью земли они встретятся?

11. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

Пример решения задач

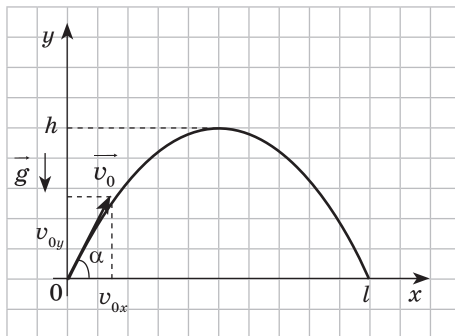
Задача. Тело, брошенное под углом к горизонту, достигло максимальной высоты $h = 10$ м, а в горизонтальном направлении пролетело 20 м к моменту падения. Определите угол и скорость бросания тела. Ускорение свободного падения считайте равным 10 м/с^2.

Дано:
$h = 10$ м
$l = 20$ м
$g = 10$ м/с^2

α — ?
v_0 — ?

Решение

Движение тела, брошенного под углом к горизонту, является сложным: равномерным по OX и свободным падением по OY (см. рисунок).



Максимальную высоту при этом можно определить по формуле:

$$h=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}, \qquad (1)$$

а дальность полета — по формуле:

$$l=\frac{2v_0^2\sin\alpha\cos\alpha}{g}. \qquad (2)$$

Разделим уравнение (1) на уравнение (2), получим $\frac{h}{l}=\frac{\text{tg}\,\alpha}{4}$, тогда $\text{tg}\,\alpha=\frac{4h}{l}$.

Выполним расчеты: $\text{tg}\,\alpha=\frac{4\cdot 10\text{ м}}{20\text{ м}}=2$, тогда $\alpha=\text{arctg}\,2$, т. е. $\alpha\approx 63^\circ$.

Из уравнения (1) найдем: $v_0=\frac{\sqrt{2gh}}{\sin\alpha}$.

Проверим единицы и определим числовое значение скорости бросания тела:

$$[v_0]=\frac{\sqrt{\text{м}\cdot\text{м}}}{\text{с}^2}=\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{v_0\}=\frac{\sqrt{2\cdot 10\cdot 20}}{\sin 63^\circ}\approx 22{,}4;$$

$$v_0\approx 22{,}4\ \text{м/с}.$$

Ответ: тело бросили с начальной скоростью $v_0\approx 22{,}4$ м/с под углом $\alpha\approx 63^\circ$.

2-й уровень сложности

11.1. Мяч бросили под углом 30° к горизонту со скоростью 20 м/с. На какую максимальную высоту он поднимется? На каком расстоянии от точки броска мяч упадет?

11.2. Во время полива цветов струя воды вытекает из шланга со скоростью 8 м/с под углом 60° к горизонту. На каком расстоянии от шланга расположена клумба?

11.3. На полигоне проводятся учебные стрельбы из пушек. Какова наименьшая высота безопасного полета бомбардировщиков над полигоном, если начальная скорость вылета пушечных снарядов составляет 800 м/с? Снаряды вылетают под углом 15° к горизонту.

11.4. Под каким углом к горизонту бросили камень с начальной скоростью 20 м/с, если он упал через 3 с на расстоянии 30 м от места броска?

11.5. Шарик, брошенный под углом 45° к горизонту с начальной скоростью 30 м/с, через 2 с достиг крыши дома. Определите высоту дома и расстояние до него от места броска шарика.

11.6. Из башни, высота которой 40 м, с начальной скоростью 15 м/с бросили вверх тело под углом 30° к горизонту. Через какое время и на каком расстоянии от башни тело упадет на поверхность земли?

11.7. Под каким углом к горизонту следует бросить мяч, чтобы дальность его полета равнялась максимальной высоте подъема?

11.8. Под каким углом к горизонту необходимо бросить с поверхности земли тело, чтобы его максимальная высота подъема была в 4 раза меньше дальности полета?

11.9. Из самолета, который летит горизонтально со скоростью 144 км/ч, на высоте 500 м сбросили груз для полярников на расстоянии 400 м от места их расположения. Попал ли груз по месту назначения? В течение какого времени падал груз?

11.10. Вертолет летит горизонтально на высоте 8 км со скоростью 180 км/ч. За сколько километров до цели летчик должен сбросить груз?

11.11. Тело бросили в горизонтальном направлении со скоростью 15 м/с так, что дальность его полета равна высоте, с которой было брошено тело. Определите, с какой высоты бросили тело.

? 11.12. Тело бросают в горизонтальном направлении с определенной высоты. Как следует изменить скорость движения тела, чтобы дальность его полета увеличилась втрое?

? 11.13. Как следует изменить высоту, с которой бросают тело в горизонтальном направлении, чтобы дальность полета возросла вдвое (начальная скорость тела остается неизменной)?

11.14. С крутого берега реки высотой 20 м в горизонтальном направлении бросают камень со скоростью 15 м/с. Через какое время, с какой скоростью и под каким углом камень упадет в воду?

11.15. С моста, высота которого над водой составляет 75 м, в горизонтальном направлении бросили камень со скоростью 15 м/с. С какой скоростью и под каким углом к воде упадет камень?

3-й уровень сложности

11.16. Мяч бросили под углом 60° к горизонту с начальной скоростью 20 м/с. На расстоянии 15 м от точки броска мяч упруго ударился о стену. На каком расстоянии от стены мяч упадет на поверхность земли?

12. КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО ОКРУЖНОСТИ

Пример решения задач

Задача. Материальная точка равномерно вращается по окружности радиусом 10 м, совершая полный оборот за 2 с. Определите частоту ее вращения, линейную и угловую скорости, центростремительное ускорение. Как изменится центростремительное ускорение, если радиус траектории увеличить в N раз?

Дано:
$R_1 = 10$ м
$T = 2$ с
$R_2 = NR_1$

n — ?
ω — ?
v — ?
$a_{центростр}$ — ?
$\frac{a_2}{a_1}$ — ?

Решение

Частоту вращения можно найти через период $n = \frac{1}{T}$, т. е. $n = \frac{1}{2\text{ с}} = 0{,}5$ об/с.

Угловую скорость найдем по формуле $\omega = 2\pi n$, итак, $\omega = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5$ с$^{-1}$, т. е. $\omega = 3{,}14$ рад/с.

Линейную скорость целесообразно определить так: $v = \frac{2\pi R}{T}$.

Таким образом, $v = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10\text{ м}}{2\text{ с}} = 31{,}4$ м/с.

Для определения центростремительного ускорения используем формулу $a_{центростр} = \frac{v^2}{R}$.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$\left[a_{центростр}\right] = \frac{м^2}{с^2 \cdot м} = \frac{м}{с^2};$$

$$\left\{a_{центростр}\right\} = \frac{31{,}4^2}{10} \approx 98{,}6;$$

$$a_{центростр} = 98{,}6 \text{ м/с}^2.$$

Поскольку в условии ничего не сказано об изменении линейной и/или угловой скорости, то корректно ответить на вопрос об изменении центростремительного ускорения при изменении радиуса траектории не представляется возможным. Однако мы можем рассмотреть два случая.

1) Если при изменении радиуса траектории не изменилась линейная скорость движения, то $\frac{a_2}{a_1} = \frac{v^2 R_1}{R_2 v^2} = \frac{R_1}{NR_1}$, следовательно, $\frac{a_2}{a_1} = \frac{1}{N}$, т. е. центростремительное ускорение уменьшится в N раз.

2) Если же при изменении радиуса траектории неизменной останется угловая скорость, то, выражая центростремительное ускорение через угловую скорость ($a_{центростр} = \omega^2 R$), получим: $\frac{a_2}{a_1} = \frac{\omega^2 R_2}{\omega^2 R_1} = \frac{NR_1}{R_1}$, следовательно, $\frac{a_2}{a_1} = N$, т. е. в этом случае центростремительное ускорение возрастет в N раз.

1-й уровень сложности

12.1. Диск за 10 с сделал 40 оборотов. Определите период и частоту его вращения.

12.2. За какое время тело совершит 60 оборотов, если период его обращения составляет 2 с?

12.3. Мальчик вращает шарик, привязанный к нитке, с частотой 5 об/с. Определите период обращения шарика.

12.4. Определите угловую скорость, с которой движется секундная стрелка механических часов.

12.5. Горизонтальная платформа вращается вокруг вертикальной оси, совершая 2 оборота за 1 с. Определите угловую скорость вращения платформы.

12.6. С какой частотой вращается материальная точка, если угловая скорость ее вращения составляет 31,4 рад/с?

12.7. Автомобиль движется по закругленному участку шоссе радиусом 50 м с постоянной по модулю скоростью 72 км/ч. Найдите центростремительное ускорение движения автомобиля на этом участке.

12.8. Самолет на скорости 360 км/ч выполняет «мертвую петлю» радиусом 400 м. Определите центростремительное ускорение, с которым движется самолет.

12.9. Трамвайный вагон движется по закруглению радиусом 50 м. Определите скорость движения трамвая, если его центростремительное ускорение составляет 0,5 м/с^2.

12.10. Определите центростремительное ускорение, с которым движутся крайние точки карусельного станка, отдаленные от оси вращения на 2 м, если угловая скорость вращения составляет 1,5 рад/с.

12.11. Во время вращения вала радиусом 10 см центростремительное ускорение для точек на его поверхности составляет 10 м/с^2. Определите угловую скорость вращения вала.

2-й уровень сложности

12.12. Тело движется по окружности радиусом 20 см. Найдите путь и модуль его перемещения за промежуток времени, которое равняется: а) периоду вращения тела; б) половине периода; в) четверти периода.

12.13. Велосипедист движется равномерно по кругу радиусом 150 м, делая 0,25 об/мин. Определите путь и перемещение велосипедиста за: а) 60 с; б) 120 с.

12.14. Угловая скорость вращения лопастей вентилятора 15π рад/с. Определите, сколько оборотов совершил вентилятор за 6 с.

12.15. За какое время колесо, вращаясь с угловой скоростью 5π рад/с, осуществит 150 оборотов?

12.16. Колесо велосипеда имеет диаметр 80 см. С какой скоростью движется велосипедист, если колесо велосипеда совершает 150 оборотов в минуту? С какой угловой скоростью вращается колесо?

12.17. Найдите максимальную скорость, с которой может вращаться шлифовальный круг диаметром 30 см, если допустимая частота вращения для него составляет 1800 об/мин.

12.18. Точильный круг имеет диаметр 350 мм. Линейная скорость точек его рабочей поверхности не может превышать 31,5 м/с. Можно ли насадить этот круг на вал электродвигателя, который совершает: а) 1450 об/мин; б) 2000 об/мин?

12.19. Колесо радиусом 80 см катится по горизонтальной дороге без проскальзывания. Какой путь оно пройдет, сделав 20 полных оборотов?

12.20. Диск диаметром 30 см катится по горизонтальной поверхности. Сколько оборотов сделает диск, преодолев путь 90 м?

12.21. С какой линейной скоростью движутся точки земной поверхности на экваторе в процессе суточного вращения Земли? Радиус Земли считайте равным 6400 км.

12.22. Найдите линейную скорость суточного вращения точек земной поверхности на широте Харькова (50°).

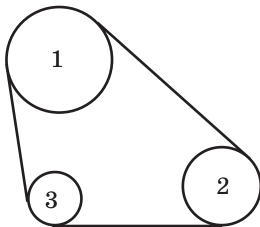
? 12.23. Во сколько раз изменится скорость движения спутника по орбите, если радиус его орбиты увеличится в 3 раза, а период обращения — в 6 раз?

? 12.24. Секундная стрелка часов в 2 раза короче минутной. Конец какой из них имеет большую линейную скорость?

? 12.25. Сравните угловые скорости вращения часовой и секундной стрелок настенных часов.

? 12.26. Сравните угловые скорости вращения точек на ободе шкивов генератора *1*, вентилятора *2* и двигателя *3* (см. рисунок).

? 12.27. Сравните линейные скорости движения точек на ободе шкивов генератора *1*, вентилятора *2* и двигателя *3* (см. рисунок).



К задачам 12.26, 12.27

12.28. Два шкива радиусами 10 см и 15 см соединены между собой ременной передачей. Частота вращения большего шкива 90 об/мин. Определите скорость движения ремня и период обращения меньшего шкива.

12.29. Рассчитайте центростремительное ускорение вращения льва, спящего у экватора нашей планеты.

12.30. Земля совершает один оборот вокруг Солнца за один год. Определите центростремительное ускорение движения Земли относительно Солнца, если расстояние от Земли до Солнца составляет 150 млн км, считая, что Земля движется равномерно по круговой орбите.

12.31. Грузик, подвешенный на нитке длиной 1,25 м, отклоняют так, что нить располагается горизонтально, и отпускают. Определите центростремительное ускорение, с которым грузик проходит положение равновесия, если скорость его движения в этой точке составляет 5 м/с.

3-й уровень сложности

12.32. Линейная скорость вращения точек на ободе маховика составляет 6 м/с, а точек, которые лежат на 10 см ближе к оси,— 4 м/с. Определите радиус маховика и угловую скорость его вращения.

12.33. Определите диаметр колеса, если известно, что линейная скорость вращения точек на ободе колеса в 2 раза больше линейной скорости вращения точек, лежащих на 4 см ближе к оси вращения.

12.34. Диск вращается с угловой скоростью 3 рад/с. Относительно диска по радиусу движется тело со скоростью 0,4 м/с. Найдите скорость движения этого тела относительно Земли, когда оно будет на расстоянии 10 см от оси вращения.

12.35. Вдоль радиуса вращающегося диска ползет муха со скоростью 0,03 м/с относительно диска. В тот момент, когда муха находится на расстоянии 5 см от оси вращения диска, скорость ее движения относительно Земли составляет 5 см/с. Определите частоту вращения диска.

12.36. Вертолет начал снижаться вертикально с ускорением 0,2 м/с^2. Лопасти его винта имеют длину 5 м и вращаются с частотой 300 об/мин. Сколько оборотов сделает винт за время снижения вертолета на 40 м? Определите также линейную скорость и центростремительное ускорение для концов лопастей винта относительно корпуса вертолета.

12.37. Сколько оборотов сделает юла, которая вращается с частотой 251,2 рад/с, за время ее свободного падения с высоты 5 м?

12.38. На диск, который вращается с частотой 45 об/мин, с высоты 70 см падает шарик. За время его падения диск успевает повернуться на 102°. Определите по этим данным ускорение свободного падения шарика.

12.39. Мальчик вращает в вертикальной плоскости камень, привязанный к бечевке длиной 60 см, совершая 4 об/с. Бечевка обрывается в тот момент, когда скорость движения камня направлена вертикально вверх. На какую высоту от точки отрыва поднялся камень? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

ДИНАМИКА

13. ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Пример решения задач

Задача. Выражение «Сила — причина ускорения движения тела» является неточным. Почему?

Ответ: в инерциальной системе отсчета причиной ускорения тела является взаимодействие тел, а не сила, которая является мерой взаимодействия. В то же время в неинерциальной системе отсчета причин ускорения две: взаимодействие и ускорение самой системы отсчета. Этим, собственно, и отличается инерциальная система отсчета от неинерциальной.

1-й уровень сложности

? **13.1.** Парашютист опускается, двигаясь равномерно прямолинейно. Действия каких тел компенсируются при таком движении?

? **13.2.** Действия каких тел на стул компенсируются, когда стул стоит на полу?

? **13.3.** Действия каких тел на плот компенсируются, когда плот плывет по реке?

2-й уровень сложности

? **13.4.** Тело под действием нескольких сил движется равномерно прямолинейно. Можно ли это движение рассматривать как проявление инерции тела?

? **13.5.** Пассажир поднимается, стоя на эскалаторе метро. Можно ли сказать, что в этом случае наблюдается явление инерции?

? **13.6.** Действуют ли силы на тело, которое движется равномерно прямолинейно в инерциальной системе отсчета?

? 13.7. Автомобиль с отключенным двигателем движется по равной горизонтальной дороге. Почему не сохраняется скорость движения автомобиля?

? 13.8. Снаряд, выпущенный из пушки, летит к цели. Почему в этом случае не наблюдается явление инерции?

? 13.9. Можно ли систему отсчета, связанную с лифтом, считать инерциальной в случае, когда лифт: а) движется ускоренно вверх; б) движется равномерно вверх; в) движется замедленно вниз?

? 13.10. В каком случае систему отсчета, связанную с автомобилем, можно считать инерциальной? Автомобиль: а) движется равномерно прямолинейно по горизонтальному шоссе; б) движется ускоренно с горы; в) совершает поворот с постоянной скоростью.

? 13.11. Можно ли считать инерциальной систему отсчета, связанную с велосипедистом, который равномерно движется по кольцевому треку?

? 13.12. Является ли инерциальной система отсчета, связанная с поездом, который отправляется от станции?

? 13.13. Во время резкого торможения трамвая пассажир наклонился вперед. Назовите тело, действие которого заставило пассажира двигаться относительно автомобиля.

? 13.14. Как движется поезд, если яблоко, выпавшее из рук пассажирки: а) движется относительно вагона вертикально вниз; б) во время падения отклоняется в сторону; в) отклоняется вперед по ходу поезда; г) отклоняется назад относительно направления движения поезда?

? 13.15. Почему человеку, который стоит в движущейся лодке, трудно удержать равновесие, когда лодка вдруг останавливается?

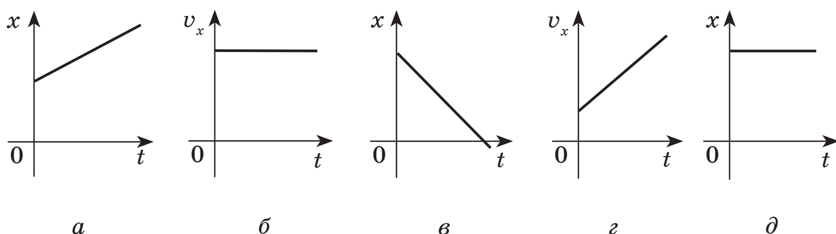
? 13.16. Объясните опускание столбика ртути, когда мы встряхиваем медицинский термометр.

? 13.17. Как объяснить тот факт, что бегущий человек, споткнувшись, падает вперед?

? 13.18. Почему молоток или топор плотнее насаживается на рукоять, если ее свободным концом ударить о какой-либо твердый предмет?

? 13.19. Уравнения зависимости координат и скоростей движения тел от времени имеют вид: а) $x_1 = 5 - 2t$; б) $x_2 = 10 + 2t - t^2$; в) $v_{3x} = 25t$; г) $v_{4x} = -20$. В каких случаях равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю?

? 13.20. На рисунке представлены графики зависимости координаты и скорости движения тел от времени. В каких случаях равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю?



а *б* *в* *г* *д*

3-й уровень сложности

? 13.21. Легкую дверь человек может открыть одним пальцем. Почему же пуля пробивает ту же дверь, не открывая ее?

14. ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

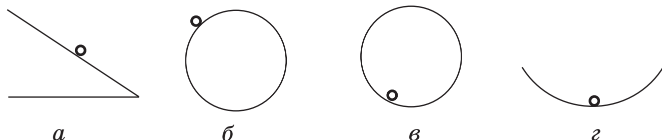
Пример решения задач

Задача. Можно ли считать произведение массы и ускорения тела ($m\vec{a}$) определением силы ($\vec{F}$), действующей на тело? Ответ обоснуйте.

Ответ: нет. Отождествлять $\vec{F}$ и $m\vec{a}$ нельзя, так как ускорение тела в инерциальной системе является лишь следствием действия на него нескомпенсированной силы.

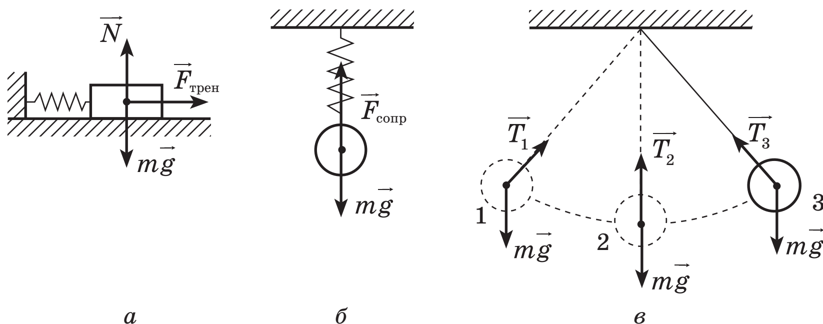
1-й уровень сложности

? 14.1. Изобразите равнодействующую сил, приложенных к телам, представленным на рисунках *а*—*г*. Куда направлено ускорение в каждом случае?



а *б* *в* *г*

? 14.2. На рисунках *а*—*в* показаны силы, действующие на тело, совершающее колебания. Куда направлено ускорение в каждом случае?



а *б* *в*

? 14.3. Изобразите на рисунке силы, действующие на тело во время его равноускоренного прямолинейного движения в следующих случаях:

а) кран поднимает груз вертикально вверх;
б) санки с грузом тянут за веревку по горизонтальной поверхности;
в) санки с грузом тянут за веревку на горку;
г) санки съезжают с горки.

? 14.4. Изобразите на рисунке силы, действующие на тело во время его равномерного движения по окружности в следующих случаях:

а) шарик, подвешенный на нити, вращается в горизонтальной плоскости;
б) муха сидит на вращающемся диске.

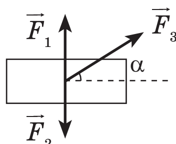
14.5. С каким ускорением движется вагонетка массой 500 кг под действием силы 125 Н?

14.6. Какую силу следует приложить к телу массой 200 г, чтобы оно двигалось с ускорением 2,5 м/с^2?

14.7. Определите массу мяча, который под действием силы 50 мН приобретает ускорение 10 см/с^2.

2-й уровень сложности

14.8. Силы $F_1 = 15$ Н, $F_2 = 10$ Н и $F_3 = 20$ Н действуют на тело так, как изображено на рисунке. Найдите равнодействующую этих сил и ее проекции на координатные оси, если $\alpha = 30°$.

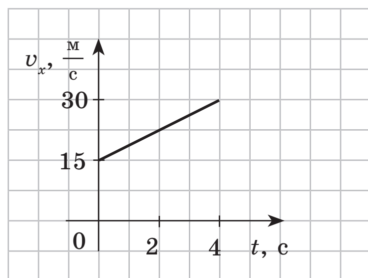


? 14.9. Равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равна нулю. Может ли это тело: а) двигаться прямолинейно; б) двигаться по окружности; в) находиться в покое? Ответ обоснуйте.

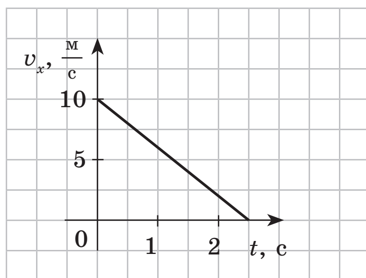
? 14.10. Равняется ли нулю равнодействующая сил, приложенных к телу, если оно: а) движется равномерно прямолинейно; б) движется равномерно по окружности; в) движется равноускоренно прямолинейно; г) находится в покое? Ответ обоснуйте.

14.11. По графику скорости тела (см. рисунок) определите модуль и направление равнодействующей сил, действующих на тело массой 4 кг.

14.12. По графику скорости тела (см. рисунок) определите модуль и направление равнодействующей сил, действующих на автомобиль массой 1,5 т.



К задаче 14.11

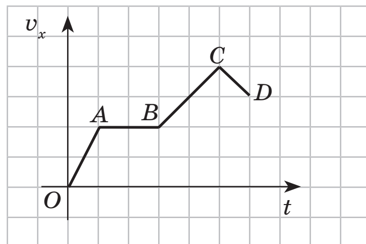


К задаче 14.12

14.13. Постройте график скорости движения велосипедиста массой 100 кг, который останавливается через 2 с под действием силы 250 Н.

14.14. Постройте график скорости движения поезда массой 100 т, который, имея скорость 18 км/ч, начинает разгоняться под действием силы тяги 150 кН.

? **14.15.** По графику скорости движения тела (см. рисунок) определите, на каких участках силы, действующие на тело, уравновешиваются?



14.16. Под действием некоторой силы тело массой 90 кг движется с ускорением 0,4 м/с². С каким ускорением будет двигаться тело массой 120 кг под действием той же силы?

14.17. Под действием некоторой силы тело массой 450 кг движется с ускорением 0,8 м/с². Определите массу тела, которое под действием той же силы движется с ускорением 0,25 м/с².

14.18. Некоторая сила придает пустой тележке массой 6 кг ускорение 1,5 м/с². Определите массу груза, положенного на тележку, если известно, что нагруженная тележка под действием той же силы движется с ускорением 0,3 м/с².

14.19. Два стальных шарика, радиусы которых отличаются в 3 раза, сталкиваются. Чему равно отношение модулей ускорения движения этих шариков вследствие их центрального удара? Зависит ли ответ на вопрос от начальных скоростей шариков?

14.20. Во время столкновения двух железнодорожных платформ ускорение нагруженной платформы оказалось в 4 раза меньше, чем пустой. Во сколько раз нагруженная платформа тяжелее пустой?

14.21. Вагон движется согласно уравнению $x = 50 + t - 0{,}1t^2$ под действием силы 4 кН. Определите его массу.

14.22. Чему равняется сила, действующая на тело массой 200 кг, если зависимость его перемещения от времени определяется уравнением $s_x = 5t + 1{,}25t^2$?

14.23. На шарик массой 50 г в направлении его движения действует постоянная сила 150 мН. Запишите уравнение зависимости скорости движения шарика от времени, если его начальная скорость составляла 2 м/с.

14.24. Тележка массой 15 кг тормозит, двигаясь равноускоренно под действием силы 9 Н. Запишите уравнение ее движения, если известно, что начальная координата тележки $x_0 = 16$ м, а начальная скорость $v_x = 8$ м/с.

3-й уровень сложности

14.25. Из пушки вылетает снаряд массой 10 кг со скоростью 600 м/с. Определите среднюю силу давления пороховых газов, если по стволу пушки снаряд движется в течение 5 мс.

14.26. Поезд массой 900 т, имея скорость 108 км/ч, остановился под действием силы 135 кН. Сколько времени длилось торможение?

14.27. Под действием силы 3 кН скорость движения грузовика массой 6 т выросла от 54 км/ч до 90 км/ч. Определите время и путь разгона грузовика.

14.28. Автомобиль массой 4 т, двигаясь со скоростью 18 км/ч, начинает тормозить и останавливается, пройдя 50 м. Определите силу торможения.

14.29. Поезд массой 100 т, отправляясь от станции, двигался равноускоренно. Преодолев 800 м, он достиг скорости 72 км/ч. Определите силу, придавшую поезду ускорение.

14.30. Шарик массой 250 г под действием постоянной силы прошел за первые 2 с движения 4 м. Определите величину этой силы.

15. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Пример решения задач

Задача. Силы, с которыми тело и динамометр действуют друг на друга во время взвешивания, не уравновешиваются, поскольку приложены к разным телам. Почему же тогда тело и динамометр после определенного удлинения динамометра останавливаются?

Ответ: на тело кроме силы упругости пружины динамометра действует еще и сила тяжести, и они уравновешивают друг друга ($\vec{F}_{упр} + \vec{F}_{тяг} = 0$).

1-й уровень сложности

? **15.1.** На полу лифта лежит предмет. Какая сила больше: та, с которой пол действует на предмет, или та, с которой предмет давит на пол лифта, если лифт: а) находится в покое; б) движется равномерно прямолинейно; в) движется равноускоренно?

? **15.2.** Книга, лежащая на столе, давит на него с определенной силой. Стол действует на книгу с такой же силой вверх. Что вы можете сказать о равнодействующей этих двух сил?

? **15.3.** Как объяснить явление отдачи вследствие выстрела из ружья?

? **15.4.** Теннисист бьет ракеткой по мячу. На какое из тел (ракетку или мяч) действует в момент удара большая сила?

? **15.5.** С одинаковой ли силой сжимаются буфера во время столкновения двух товарных вагонов? Изменится ли ответ, если: а) один из вагонов в момент столкновения находился в покое; б) один из вагонов был нагружен, а другой пустой?

2-й уровень сложности

? **15.6.** Вследствие столкновения корабль может потопить катер без существенных для себя повреждений. Нет ли здесь противоречия с третьим законом Ньютона?

? 15.7. Небольшую лодку подтягивают канатом к кораблю. Почему же корабль не движется в сторону лодки?

? 15.8. К берегу подходят две одинаковые лодки. Лодочники подтягиваются к берегу с помощью канатов. Какая лодка раньше коснется берега: та, у которой противоположный конец каната привязан к столбу на берегу, или та, у которой противоположный конец каната держит матрос?

? 15.9. Два лодки на озере соединены канатом. Люди, сидя в лодках, с помощью каната подтягивают лодки друг к другу. Сравните движение лодок относительно воды.

3-й уровень сложности

? 15.10. Двое мальчиков растягивают веревку, посередине которой закреплен динамометр. Каждый из мальчиков прилагает силу 150 Н. Ответьте на следующие вопросы: а) что покажет динамометр; б) какое значение имеет равнодействующая сил, приложенных к веревке?

? 15.11. Канат выдерживает нагрузку 500 Н. Порвется ли канат, если: а) подвесить к этому канату груз массой 60 кг; б) тянуть его в противоположные стороны, прилагая с каждой стороны усилие 260 Н?

? 15.12. На весах уравновесили неполный сосуд с водой. Нарушится ли равновесие, если в сосуд опустить подвешенный на нити стальной шарик так, чтобы он не касался дна и стенок сосуда?

16. СИЛА УПРУГОСТИ

Пример решения задач

Задача. Определите массу груза, который можно поднять с помощью медного троса, состоящего из 50 жил диаметром 2 мм, если запас прочности его равен 3. Предел прочности меди составляет 400 МПа.

Дано:	СИ	*Решение*
$d = 2$ мм $N = 50$ $\sigma_м = 400$ МПа $n = 3$ $g = 10\ \frac{м}{с}$	$d = 2 \cdot 10^{-3}$ м $\sigma_м = 4 \cdot 10^{8}$ Па	На трос действуют две силы: сила тяжести $F_{тяж} = mg$ и сила упругости $F_{упр} = \sigma S$, которые уравновешиваются, итак, $\sigma S = mg$, откуда $m = \frac{\sigma S}{g}$. По определению запаса прочности: $n = \frac{\sigma_м}{\sigma}$, откуда $\sigma = \frac{\sigma_м}{n}$. Таким образом, $m = \frac{\sigma_м S}{ng}$.
m — ?		

Площадь сечения можно определить как суммарную площадь сечения пятидесяти проволочных жил, т. е. $S = \frac{\pi d^2 N}{4}$. Тогда конечная формула будет иметь вид:

$$m = \frac{\pi d^2 N \sigma_м}{4ng}.$$

Проверим единицы:

$$[m] = \frac{м^2 \cdot Па \cdot с^2}{м} = \frac{м \cdot Н \cdot с^2}{м^2} = \frac{кг \cdot м \cdot с^2}{с^2 \cdot м} = кг.$$

Найдем массу груза: $\{m\} = \frac{3{,}14 \cdot 2^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 50}{4 \cdot 10 \cdot 3} \approx 2093$;

$$m \approx 2093 \text{ кг}.$$

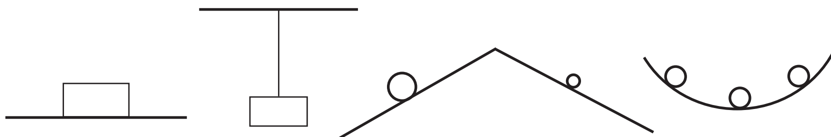
Ответ: с помощью этого троса можно поднять груз массой $m \approx 2$ т.

1-й уровень сложности

? 16.1. Силы какой природы толкают снаряд внутри ствола пушки?

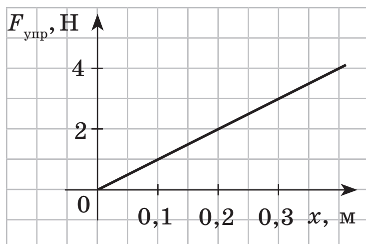
16.2. К какому виду сил относится сила Архимеда?

16.3. Определите направление сил упругости, действующих на тела, изображенные на рисунке.

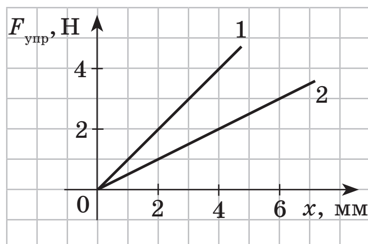


16.4. Определите коэффициент жесткости тела, график зависимости силы упругости которого от удлинения представлен на рисунке.

16.5. На рисунке приведены графики зависимости силы упругости от удлинения для двух одинаковых проводов. Определите, какой из них — латунный (1) или серебряный (2) — имеет больший коэффициент жесткости? Какие значения имеют коэффициенты жесткости этих проводов?



К задаче 16.4



К задаче 16.5

16.6. Какая сила деформировала пружину жесткостью 1500 Н/м, если вследствие деформации пружина сократилась на 5 см? Какая сила упругости возникла в пружине?

16.7. Определите коэффициент жесткости пружины, которая под действием силы 100 Н деформировалась на 4 см?

16.8. Насколько удлинится канат, коэффициент жесткости которого 1800 Н/м, под действием силы 10,8 Н?

16.9. Одна из двух пружин под действием силы 3,6 кН удлинилась на 9 см, а вторая под действием силы 2 кН удлинилась на 5 см. Какая из пружин имеет больший коэффициент жесткости?

16.10. Пружина под действием силы 54 Н удлинилась на 9 см. На сколько она удлинится под действием силы 18 Н; 30 Н?

16.11. К тросу, жесткостью 15 кН/м, подвесили груз массой 6 кг. На сколько удлинился трос?

16.12. Определите жесткость пружины, которая удлинилась на 2,5 см, когда к ней подвесили груз массой 5 кг.

16.13. Какое механическое напряжение возникает в рельсе с площадью поперечного сечения 8 $см^2$ под действием силы 100 Н?

16.14. Определите площадь поперечного сечения деревянного шеста, если под действием силы 810 Н в нем создается напряжение 300 кПа.

16.15. Какая сила действует на лопасть паровой турбины с площадью сечения 16 $см^2$, если напряжение в лопасти 25 $кН/см^2$?

16.16. Определите механическое напряжение, возникшее в стальном тросе, если его относительное удлинение составляет 0,003.

16.17. Вследствие сжатия медного стержня в нем возникло напряжение 360 МПа. Определите относительное удлинение этого стержня.

2-й уровень сложности

? **16.18.** Стальная и медная проволоки одинакового размера подвешены вертикально и соединены внизу горизонтальным невесомым стержнем. Останется ли стержень горизонтальным, если к его середине прикрепить груз?

? **16.19.** Почему стальной шарик от камня отскакивает хорошо, а от асфальта плохо?

? **16.20.** Одинаково ли деформируются буферные пружины во время столкновения вагонов?

? **16.21.** Изменится ли ответ (см. предыдущую задачу), если: а) один из вагонов в момент столкновения находился в покое; б) один вагон нагружен, а другой пустой? Обоснуйте ответ.

? **16.22.** Сравните коэффициенты жесткости целого стального троса и его трети.

? **16.23.** Как изменится жесткость стального троса, если его сложить втрое?

16.24. С каким ускорением движется тело массой 2 кг, которое тянут по гладкой горизонтальной поверхности с помощью пружины жесткостью 100 Н/м, если пружина во время движения удлинилась на 1 см? Трением пренебрегите.

16.25. С помощью троса жесткостью 2 МН/м буксируют автомобиль массой 1,5 т. На сколько удлинился трос, если автомобиль, сдвинувшись с места, за 20 с преодолел 200 м? Трением можно пренебречь.

16.26. Какое механическое напряжение возникает в шейке крюка подъемного крана во время равномерного подъема груза массой 6 т? Диаметр шейки крюка 28 мм.

16.27. Радиус круглого стержня равен 2 см. Определите, под действием какой силы в нем возникает напряжение 50 кПа.

16.28. Каким должен быть минимальный диаметр стального троса, чтобы к нему можно было подвесить груз весом 10 кН? Весом троса можно пренебречь.

16.29. Цилиндр, площадь сечения которого 2 см^2, под действием груза массой 1,05 т сжался на 0,025 % первоначальной длины. Определите модуль Юнга материала, из которого изготовлен брусок.

16.30. На сколько процентов от первоначальной длины удлинился латунный провод радиусом 1,5 мм, когда к нему подвесили груз 30 кг?

16.31. На скольких сваях диаметром 12 см можно разместить платформу массой 300 т, если допустимое напряжение на сжатие сваи составляет 10 МПа?

16.32. В канате, свитом из 40 проволок, под действием груза массой 250 кг возникает напряжение 30 МПа. Определите диаметр одной проволоки.

16.33. Для изготовления предварительно напряженного железобетона стальные арматурные стержни длиной $l_0 = 6$ м и диаметром $d = 20$ мм удлиняют на $\Delta l = 2$ мм. Какую силу для этого необходимо приложить? Модуль Юнга для стали считайте равным $E = 220$ ГПа.

16.34. Определите первоначальную длину латунного провода с площадью сечения 0,5 $мм^2$, который под действием подвешенного к нему груза массой 5 кг удлинился на 2 мм.

16.35. Каким будет удлинение стального провода длиной 5 м с площадью сечения 0,8 $см^2$ под действием груза весом 1960 Н?

16.36. К медному тросу длиной 0,5 м и площадью сечения 2 $см^2$ подвесили контейнер массой 4 т. Какой запас прочности имеет трос в этом случае? Определите также абсолютное и относительное удлинение троса.

3-й уровень сложности

16.37. Две пружины жесткостью 800 Н/м и 500 Н/м соединили параллельно. Какую жесткость будет иметь такая система?

16.38. Пружину динамометра сложили из двух пружин жесткостью 160 Н/м и 240 Н/м, соединенных последовательно. Определите жесткость пружины такого динамометра.

16.39. Стальной и медный стержни, имеющие одинаковую площадь сечения 1,5 $см^2$ и длины 1 м и 0,6 м соответственно, скреплены последовательно. Определите удлинение системы стержней под действием силы 400 Н.

16.40. Пружину сжали до длины 8 см, прикладывая силу 12 Н, а затем растянули до 14 см, действуя силой 18 Н. Какой была длина недеформированной пружины?

16.41. Прикладывая силу 56 Н, пружину удлинили до 16 см, а чтобы удлинить эту пружину до 18 см, необходимо приложить силу 70 Н. Какую длину имеет недеформированная пружина?

16.42. Во время океанологических исследований, чтобы взять пробу грунта, на дно океана на стальном тросе опускают специальный прибор массой 10 кг. С какой глубины можно взять пробу, если предел прочности троса составляет 340 МПа? Плотность воды 1030 $кг/м^3$, плотность стали — $7,8 \cdot 10^3$ $кг/м^3$.

16.43. Проволоку длиной 2 м и диаметром 1 мм натянули горизонтально. Под действием груза массой 1 кг, подвешенного к середине проволоки, она растянулась настолько, что точка подвеса опустилась на 4 см. Определите модуль упругости проволоки. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

16.44. Шарик массой 50 г, прикрепленный к концу резинового жгута, длина которого в недеформированном состоянии 25 см, вращается в горизонтальной плоскости с частотой 3 об/с. Насколько при этом удлиняется жгут, если его коэффициент жесткости равен 620 Н/м.

16.45. Стержень длиной 40 см, на конце которого закреплен грузик массой 100 г, вращается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью 20 рад/с. Определите удлинение стержня, если его коэффициент жесткости равен 4 кН/м; весом стержня можно пренебречь.

16.46. С какой скоростью может вращаться тонкое свинцовое кольцо вокруг вертикальной оси, проходящей через центр кольца? Предел прочности свинца 19,6 МПа, плотность свинца $11{,}3 \cdot 10^3$ кг/м^3.

16.47. Кабинка центрифуги, прикрепленной к стержню, имеет массу 10 кг и вращается в горизонтальной плоскости с частотой 2 об/с вокруг вертикальной оси, проходящей через конец стержня. Определите напряжение материала стержня. Длина стержня 1,2 м, площадь поперечного сечения — 2 мм^2. Массой стержня можно пренебречь.

16.48. Из скольких стальных проволок диаметром 2,5 мм состоит трос, рассчитанный на подъем груза массой 1,5 т, если запас прочности составляет 4.

16.49. Определите предел прочности троса, сплетенного из 32 проволок радиусом 1,2 мм, если с его помощью можно поднять груз массой 2,5 т при трехкратном запасе прочности.

17. СИЛА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Пример решения задач

Задача. Диаметр планеты Уран составляет 51 000 км, ускорение свободного падения на его поверхности равно 8,9 м/с². Определите среднюю плотность этой планеты.

Дано:	СИ
$d = 51\ 000$ км	$d = 5{,}1 \cdot 10^7$ м
$g = 8{,}9\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$	
$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$	
ρ — ?	

Решение

По определению плотности $\rho = \frac{M}{V}$, где M — масса Урана; V — его объем.

По условию нам известно ускорение свободного падения, которое определяется по формуле $g = G\frac{M}{R^2} = \frac{4GM}{d^2}$.

Итак, масса Урана равна: $M = \frac{gd^2}{4G}$.

Считая Уран шаром, найдем его объем по формуле: $V = \frac{\pi d^3}{6}$.

Подставим полученные выражения в формулу для плотности, получим: $\rho = \frac{3g}{2\pi G d}$.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[\rho] = \frac{\text{м} \cdot \text{кг}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\{\rho\} = \frac{3 \cdot 8{,}9}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}1 \cdot 10^7} \approx 1250;$$

$$\rho \approx 1250\ \text{кг/м}^3.$$

Ответ: плотность планеты Уран $\rho \approx 1250$ кг/м³.

1-й уровень сложности

17.1. С какой силой притягивается к станции массой 179 т транспортный космический корабль массой 9 т в случае, если корабль находится на расстоянии 50 м от станции?

17.2. В порту на расстоянии 200 м друг от друга стоят два танкера, масса одного из них составляет 150 000 т. Определите массу другого, если сила гравитационного притяжения между ними составляет 20 Н.

17.3. Определите ускорение свободного падения на Меркурии, масса которого составляет $3{,}36 \cdot 10^{23}$ кг, а радиус — 2440 км.

17.4. Определите массу Марса, если известно, что его радиус составляет $3{,}4 \cdot 10^{6}$ м, а ускорение свободного падения на поверхности Марса имеет значение 3,7 м/с^2.

2-й уровень сложности

17.5. Как изменилась сила гравитационного взаимодействия космического корабля и Земли, если корабль совершает полет: а) на высоте 400 км от поверхности Земли; б) на высоте, которая равна радиусу Земли?

17.6. На какой высоте сила гравитационного притяжения космонавта к Земле уменьшится в 9 раз?

17.7. Среднее расстояние между центрами Земли и Луны составляет приблизительно 384 000 км. В какой точке отрезка Земля — Луна сила гравитационного взаимодействия космического корабля, летящего от Земли до Луны, с обоими космическими телами будет одинаковой? Учтите, что масса Луны в 81 раз меньше массы Земли.

17.8. Среднее расстояние между центром Юпитера и центром его спутника Ганимеда приблизительно в 16 раз превышает радиус планеты, а масса Юпитера больше массы Ганимеда в 12 769 раз. Определите точку, находясь в которой, тело будет притягиваться с одинаковой силой к Юпитеру и Ганимеду.

17.9. Определите ускорение свободного падения на высоте, равной трем земным радиусам над поверхностью Земли.

17.10. На какой высоте над Землей ускорение свободного падения вдвое меньше, чем на ее поверхности?

17.11. На сколько уменьшится ускорение свободного падения на высоте, которая вдвое больше радиуса Земли?

17.12. Какую скорость необходимо развить ракете, чтобы стать искусственным спутником Венеры? Заметьте, что масса Венеры равна $4{,}92 \cdot 10^{24}$ кг, а ее радиус — 6050 км.

17.13. Во сколько раз уменьшится скорость движения спутника Земли после его перехода с высоты 100 км на высоту 400 км? Радиус Земли считайте равным 6400 км.

17.14. На сколько изменилась высота орбиты космического корабля, если скорость его вращения вокруг Земли уменьшилась с 7,8 км/с до 7,6 км/с? Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, а радиус — 6400 км.

3-й уровень сложности

17.15. Определите ускорение свободного падения на Юпитере, если известно, что средняя плотность планеты равна 1300 кг/м^3, а радиус составляет 71 000 км. Считайте, что Юпитер имеет форму шара.

17.16. Известно, что ускорение свободного падения на поверхности Земли составляет 9,8 м/с^2. Определите ускорение свободного падения на поверхности Солнца, если радиус Солнца составляет 109 земных радиусов, а средняя плотность в 4 раза меньше плотности Земли.

17.17. Определите массу планеты, вокруг которой вращается спутник по круговой орбите радиусом 3800 км с периодом 2 ч.

17.18. Определите период вращения искусственного спутника Земли на высоте 200 км. Масса Земли $6{,}3 \cdot 10^{24}$ кг, а ее радиус — 6400 км.

18. СИЛА ТЯЖЕСТИ. ВЕС. НЕВЕСОМОСТЬ

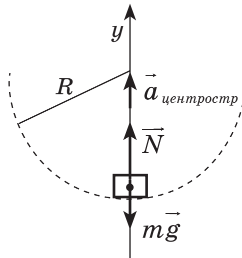
Пример решения задач

Задача. С какой скоростью проходит самолет ЯК-52 нижнюю точку «петли Нестерова» радиусом 300 м, если летчик массой 70 кг в этой точке выдерживает 4-кратную перегрузку?

Дано:
$R = 300$ м
$m = 70$ кг
$n = 4$
$g = 10$ м/с^2

v — ?

Решение



По второму закону Ньютона $m\vec{a}_{\text{центростр}} = \vec{N} + m\vec{g}$.

Поскольку все векторы направлены вдоль одной прямой, то для их проектирования достаточно одной координатной оси OY. Тогда записанное нами уравнение в проекциях будет иметь вид: $ma_{\text{центростр}} = N - mg$.

Учтем, что сила реакции опоры согласно третьему закону Ньютона по модулю равна весу $\left(\left|\vec{N}\right| = \left|\vec{P}\right|\right)$, а вес по условию равняется: $P = nmg$. Кроме того, известно, что $a_{\text{центростр}} = \frac{v^2}{R}$. Таким образом, после подстановки будем иметь: $\frac{mv^2}{R} = (n-1)mg$, откуда $v = \sqrt{(n-1)gR}$.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{v\} = \sqrt{3 \cdot 10 \cdot 300} = 94{,}9;$$

$$v \approx 94{,}9\ \text{м/с} \approx 342\ \text{км/ч}.$$

Ответ: скорость движения самолета $v \approx 342$ км/ч.

1-й уровень сложности

? 18.1. Почему сила тяжести на экваторе Земли меньше, чем на полюсах?

? 18.2. Динамометр был проградуирован на экваторе. Будет ли вес, измеренный этим динамометром на полюсе, таким же, как и на экваторе?

18.3. Какая сила тяжести будет действовать на самолет массой 80 т во время его полета на высоте, где ускорение свободного падения на 4 см/с^2 меньше, чем на поверхности Земли? Ускорение свободного падения на поверхности Земли считайте равным 9,8 м/с^2.

18.4. Насколько уменьшается сила тяжести, которая действует на человека массой 70 кг, когда он находится на обзорной площадке Останкинской башни, где ускорение свободного падения меньше на 1 мм/с^2.

? 18.5. Поднимаясь, лифт движется сперва ускоренно, потом равномерно, а перед остановкой — замедленно. Как при этом изменяется сила натяжения троса, на котором закреплен лифт?

? 18.6. Сравните изменение веса космонавта на старте и перед посадкой.

18.7. Определите вес груза массой 200 кг во время его подъема с ускорением 1,5 м/с^2.

18.8. Канат выдерживает нагрузку 2 кН. С каким наибольшим ускорением можно поднимать с его помощью груз массой 120 кг, чтобы канат не порвался?

18.9. Стальной трос выдерживает груз, масса которого не превышает 500 кг. Какой максимальный груз можно поднимать с ускорением 2,5 м/с^2, чтобы трос не оборвался?

18.10. Определите вес шара массой 12 кг, когда он вертикально падает с ускорением 4 м/с^2.

18.11. С каким ускорением замедляет свое движение лифт, если человек массой 100 кг, который поднимается в нем, давит на пол лифта с силой 750 Н?

2-й уровень сложности

? **18.12.** Камень брошен вертикально вверх. В какие моменты камень находится в состоянии невесомости?

18.13. Определите вес медного шара объемом 0,2 $м^3$, который равномерно катится по горизонтальной поверхности.

18.14. Какой объем имеют стенки стального сейфа, если пустой сейф давит на пол с силой 1170 Н?

18.15. Определите, на сколько изменяется вес водителя автомобиля, который проходит нижнюю точку вогнутого моста с радиусом кривизны 80 м, если скорость движения автомобиля в этой точке составляет 36 км/ч. Масса водителя равна 80 кг.

18.16. С какой скоростью проходят качели нижнюю точку, если вес ребенка массой 40 кг в этой точке составляет 800 Н? Длина подвеса качелей равна 2,5 м.

18.17. С какой скоростью проходит автомобиль верхнюю точку выгнутого моста с радиусом кривизны 90 м, если пассажир автомобиля в этот момент невесомый?

18.18. Определите массу автомобиля, который во время прохождения на скорости 72 км/ч вершины выгнутого моста с радиусом кривизны 100 м имеет вес 18 кН.

18.19. Каким будет вес летчика массой 75 кг, выводящего самолет из пике на скорости 540 км/ч, если радиус кривизны траектории составляет 500 м?

18.20. Пилот может выдерживать 10-кратную перегрузку. «Мертвую петлю» какого радиуса может исполнить пилот на самолете, движущемся со скоростью 900 км/ч?

3-й уровень сложности

? **18.21.** Все тела на Земле имеют вес. А имеет ли вес сама Земля?

? **18.22.** Какой вес имеет Земля как планета в процессе вращения вокруг Солнца?

? **18.23.** Всегда ли на борту космического корабля, который вращается вокруг Земли, наблюдается невесомость?

? 18.24. Находились ли в состоянии невесомости американские астронавты во время полета к Луне?

? 18.25. Будет ли находиться в состоянии невесомости космонавт, который совершает межпланетный перелет, двигаясь со второй космической скоростью?

18.26. Динамометр с прикрепленным грузиком сперва поднимают вертикально вверх, а потом опускают вниз с одинаковым по модулю ускорением, которое равно 6 м/с^2. Определите массу груза, если разница показаний динамометра составила 29,4 Н?

18.27. Груз массой 5 кг, подвешенный к динамометру, поднимают вертикально вверх с ускорением 7 м/с^2. Определите, с каким ускорением его потом опускают, если разница показаний динамометра составляет 50 Н.

19. СИЛА ТРЕНИЯ. СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ

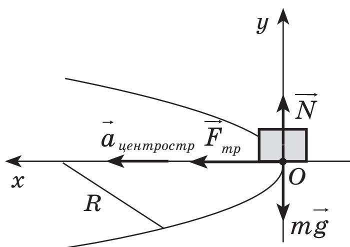
Пример решения задач

Задача. С какой наибольшей скоростью автомобиль может двигаться на повороте радиусом 40 м, чтобы его не занесло, если коэффициент трения колес о дорогу составляет 0,25?

Дано:
$R = 40$ м
$\mu = 0{,}25$
$g = 10$ м/с^2

v_{max} — ?

Решение



На автомобиль (см. рисунок) действуют три силы: сила тяжести ($m\vec{g}$), сила реакции опоры ($\vec{N}$) и сила трения ($\vec{F}_{тр}$).

По второму закону Ньютона: $m\vec{a}_{центростр} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр}$; в проекциях на оси OX и OY: $ma_{центростр} = F_{тр}$;

$0 = N - mg$, откуда $N = mg$. Принимая во внимание, что $F_{тр} = \mu N = \mu mg$ и $a_{центростр} = \frac{v^2_{max}}{R}$, получим: $\frac{mv^2_{max}}{R} = \mu mg$, откуда: $v_{max} = \sqrt{\mu g R}$.

Проверим единицы: $\left[v_{max}\right] = \sqrt{\frac{м \cdot м}{с^2}} = \frac{м}{с}$.

Выполним расчеты: $\left\{v_{max}\right\} = \sqrt{0{,}25 \cdot 10 \cdot 40} = 10$.

Таким образом, $v_{max} = 10$ м/с = 36 км/ч.

Ответ: автомобиль может двигаться на повороте со скоростью $v_{max} = 36$ км/ч.

1-й уровень сложности

? 19.1. Действует ли сила трения на книгу, лежащую на столе?

? 19.2. Действует ли сила трения на поезд метро, когда он стоит на станции?

? 19.3. Мальчик пытается сдвинуть шкаф с места. Какая сила мешает ему это сделать?

? 19.4. Максимальная сила трения покоя тележки составляет 100 Н. Сдвинет ли с места тележку ребенок, толкая ее с силой 80 Н? Какая сила трения действует на тележку в этом случае?

? 19.5. Чтобы лента транспортера не проскальзывала, ведущий барабан покрывают зернистой пастой. Изменяется ли при этом: а) сила давления груза; б) сила трения?

? 19.6. Зачем на подошвах спортивной обуви бегунов делают шипы?

2-й уровень сложности

? 19.7. Всегда ли сила трения мешает движению? Ответ обоснуйте.

? 19.8. Как направлено ускорение, которое придает движущемуся телу: а) сила трения скольжения; б) сила трения покоя?

? 19.9. В вагоне на столике лежат мяч и тетрадь. Когда поезд тронулся с места, тетрадь осталась лежать на месте, а мяч покатился. Почему?

? **19.10.** Что труднее: сдвинуть вагон с места или поддерживать движение вагона, который уже движется равномерно прямолинейно? Почему?

? **19.11.** Когда колеса автомобиля проскальзывают во время буксования, сила тяги двигателя значительно уменьшается. Чем это объяснить?

? **19.12.** Почему сила трения не зависит от выбора системы отсчета?

? **19.13.** До какого момента возрастает скорость движения парашютиста во время затяжного прыжка?

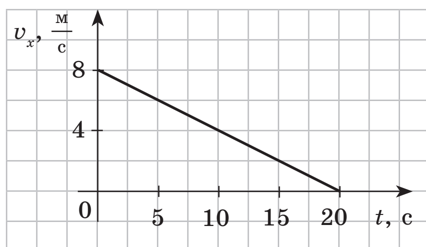
19.14. Как будет двигаться по горизонтальной поверхности тележка массой 60 кг, коэффициент трения которой 0,09, под действием силы, приложенной вдоль поверхности и равной: а) 43 Н; б) 54 Н; в) 65 Н?

19.15. Грузовик массой 5 т движется равномерно по прямолинейному участку дороги. Определите силу тяги двигателя грузовика, если известно, что коэффициент трения колес о дорогу равняется 0,03.

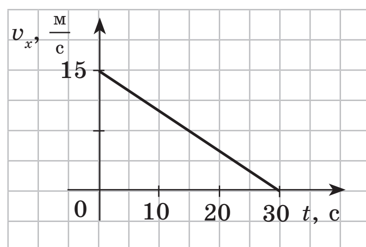
19.16. Определите коэффициент трения вагонетки массой 300 кг, которая движется равномерно прямолинейно под действием силы 45 Н, с которой ее толкает рабочий.

19.17. На рисунке представлен график зависимости скорости движения автомобиля массой 5 т от времени. Определите силу трения колес о дорогу во время торможения.

19.18. На рисунке представлен график зависимости скорости движения тормозящего поезда от времени. Определите массу поезда, если сила трения колес о рельсы равна 200 кН.



К задаче 19.17



К задаче 19.18

19.19. Сколько времени продолжалось торможение автомобиля, который ехал со скоростью 90 км/ч по горизонтальному участку пути, если известно, что масса автомобиля 1,5 т, а коэффициент трения составляет 0,5.

19.20. Мотоциклист начинает торможение на расстоянии 25 м от светофора. Коэффициент трения шин об асфальт равен 0,8. С какой наибольшей скоростью может двигаться мотоциклист, чтобы успеть своевременно остановиться?

3-й уровень сложности

? **19.21.** Шариковые подшипники обладают меньшим трением, чем роликовые, однако на современных больших цельнометаллических вагонах применяют роликовые подшипники. Почему?

? **19.22.** Почему некоторые спортсмены во время соревнований держатся за соперником и вырываются вперед лишь перед финишем?

19.23. На горизонтальном диске, который равномерно вращается с частотой 30 об/мин, на расстоянии 25 см от оси вращения лежит брусок. Каким должен быть минимальный коэффициент трения между диском и бруском, чтобы последний не соскальзывал с диска во время вращения? Ускорение свободного падения равно 9,8 м/с^2.

19.24. С какой скоростью может двигаться автомобиль на повороте с радиусом кривизны 90 м, если коэффициент трения между колесами и асфальтом равен 0,6?

19.25. С какой максимальной скоростью мотоциклист может пройти поворот радиусом 110 м, если коэффициент трения колес о дорогу составляет 0,45? Под каким углом к горизонту он должны наклониться, чтобы удержать равновесие?

19.26. Велосипедист движется по кругу радиусом 45 м со скоростью 27 км/ч. На какой угол от вертикали он должен отклониться, чтобы удержать равновесие?

20. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ

I. Движение по горизонтали и вертикали

Пример решения задач

Задача. Мяч массой 300 г бросили вертикально вверх с начальной скоростью 25 м/с. В наивысшей точке полета мяч был через 2 с. Определите силу сопротивления воздуха, считая ее неизменной в течение полета.

Дано:	СИ	*Решение*
$m = 300$ г	$m = 0{,}3$ кг	
$v_0 = 25\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$		
$t = 2$ с		
$F_{\text{сопр}}$ — ?		

$\vec{a}$, $\vec{v}_0$, $\vec{F}_{\text{сопр}}$, $m\vec{g}$, y

На тело действуют две силы: сила тяжести ($m\vec{g}$) и сила сопротивления воздуха ($\vec{F}_{\text{сопр}}$).

По второму закону Ньютона $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{сопр}}$. Координатную ось направим вертикально вниз, тогда записанное нами уравнение в проекциях на ось OY будет иметь вид: $ma = mg + F_{\text{сопр}}$, откуда $F_{\text{сопр}} = m(g - a)$.

Чтобы найти ускорение, воспользуемся формулой мгновенной скорости: $v_y = v_{0y} + a_y t$. Учитывая, что $v_{0y} = -v_0$, $a_y = a$ и в наивысшей точке траектории $v_y = 0$, найдем ускорение мяча: $a = \frac{v_0}{t}$.

Итак, получим окончательную формулу:

$$F_{\text{сопр}} = m\left(\frac{v_0}{t} - g\right).$$

Проверим единицы:

$$\left[F_{\text{сопр}}\right] = \text{кг}\left(\frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{с}} - \frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}.$$

Определим числовое значение силы сопротивления:

$$\{F_{\text{сопр}}\} = 0{,}3\left(\frac{25}{2} - 10\right) = 0{,}75,\ \text{итак},\ F_{\text{сопр}} = 0{,}75\ \text{Н} = 750\ \text{мН}.$$

Ответ: на мяч действует сила сопротивления $F_{\text{сопр}} = 750$ мН.

1-й уровень сложности

20.1. Электровоз на горизонтальном участке пути развивает силу тяги 148 кН; сила сопротивления движению — 86 кН. С каким ускорением движется поезд, если его масса составляет 2000 т?

20.2. Определите силу тяги двигателя автомобиля массой 1,2 т, если он движется с ускорением 1,5 м/с^2, а сила сопротивления его движению равна 500 Н.

20.3. Брусок массой 10 кг под действием силы 20 Н движется по горизонтальной поверхности с ускорением 1,5 м/с^2. Определите силу трения между бруском и поверхностью.

20.4. Шар массой 200 г падает вниз с ускорением 9,2 м/с^2. Какая сила сопротивления воздуха действует на шар?

20.5. С каким ускорением падает тело массой 4 кг, если средняя сила сопротивления воздуха равняется 1,2 Н?

2-й уровень сложности

20.6. Определите ускорение реактивного лайнера во время взлета, если его масса 167 т, сила тяги двигателей 225 кН, а коэффициент трения колес шасси о взлетную полосу 0,02.

20.7. Груз массой 20 кг движется по горизонтальной поверхности с ускорением 0,6 м/с^2 под действием силы 50 Н. Определите коэффициент трения.

20.8. Под действием силы 2,5 кН скорость движения платформы массой 4 т возросла с 54 км/ч до 72 км/ч. Определите путь и время разгона платформы. Учтите, что коэффициент трения колес равен 0,05.

20.9. На горизонтальном участке электровоз развивает силу тяги $3{,}45\cdot10^5$ Н. Определите коэффициент трения колес о рельсы во время движения товарного поезда массой 1300 т, если на участке пути 300 м скорость его движения возросла с 36 до 43,2 км/ч.

20.10. Тело массой 500 г, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 40 м/с, поднялось на высоту 50 м. Определите силу сопротивления воздуха, считая ее во время движения тела неизменной.

20.11. Какую скорость будет иметь камень массой 4 кг в конце падения с высоты 32 м, если в течение всего полета действовала постоянная сила сопротивления воздуха 4 Н?

20.12. Брусок массой 30 кг прижимают к вертикальной стене с силой 100 Н. Какую силу, направленную вертикально, следует приложить, чтобы: а) удержать брусок в покое; б) равномерно тянуть его вертикально вверх? Коэффициент трения составляет 0,25.

3-й уровень сложности

20.13. Сани массой 100 кг движутся равноускоренно по горизонтальному участку пути под действием силы 200 Н, направленной вверх под углом 30° к горизонту. С каким ускорением движутся сани, если коэффициент трения равен 0,01?

20.14. По горизонтальной дороге мальчик тянет за веревку, которая образует с горизонтом угол 60°, тележку с грузом общей массой 80 кг. Определите коэффициент трения, если сани движутся с постоянным ускорением, которое равно 0,1 м/с^2. Известно также, что мальчик прикладывает усилие 250 Н.

20.15. Рабочий толкает по горизонтальной дороге вагонетку с силой 190 Н, направленной вниз под углом 45° к горизонту. Определите массу вагонетки, если известно, что ускорение, с которым движется вагонетка, равно 0,8 м/с^2, а коэффициент трения — 0,02.

20.16. Полотер массой 12 кг толкают перед собой с помощью ручки, которая образует с горизонтом угол 30°. Наименьшая сила, которую необходимо направить вдоль ручки, чтобы сдвинуть полотер с места, равна 70 Н. Определите коэффициент трения между полом и полотером.

II. Движение по наклонной плоскости

Пример решения задач

Задача. Тормоза автомобиля могут удержать его на склоне с наклоном 0,1. На каком расстоянии от начала торможения остановится этот автомобиль на горизонтальной дороге, если до начала торможения он двигался со скоростью 46,8 км/ч?

Дано:
$\sin\alpha = 0{,}1$
$v_0 = 46{,}8$ км/ч
$g = 10$ м/с^2

l — ?

СИ

$v_0 = 13$ м/с

Решение

В условии описаны две ситуации.

Рассмотрим первую, когда автомобиль тормозами держится на склоне, как показано на рисунке.

Автомобиль находится в покое, поэтому равнодействующая сил, приложенных к нему, равна нулю, т. е. $\vec{F}_{тр} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$.

Координатные оси направим так: OX — вдоль наклонной плоскости (склона), а OY — перпендикулярно к ней, тогда записанное нами уравнение после проектирования векторов будет иметь вид:

$$OX\colon\ F_{тр} - mg\sin\alpha = 0;$$

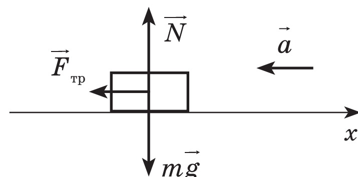
$$OY\colon\ N - mg\cos\alpha = 0,\ \text{откуда}\ N = mg\cos\alpha.$$

Учитывая, что $F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$, получим:

$\mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha = 0$, откуда $\mu = \operatorname{tg}\alpha$, таким образом,

$F_{тр} = \operatorname{tg}\alpha\, mg\cos\alpha = mg\sin\alpha$.

Теперь рассмотрим вторую ситуацию, когда автомобиль тормозит на горизонтальной дороге.



Согласно второму закону Ньютона $m\vec{a} = \vec{N} + \vec{F}_{тр} + m\vec{g}$, или в проекциях на OX: $-ma = -F_{тр}$.

Учитывая полученный выше результат $\left(F_{тр} = mg\sin\alpha\right)$, будем иметь: $ma = mg\sin\alpha$, или $a = g\sin\alpha$.

Зная ускорение, определим пройденный автомобилем путь по формуле: $l = \frac{v_0^2}{2a}$, в которую подставим полученное для ускорения выражение: $l = \frac{v_0^2}{2g\sin\alpha}$.

Проверим единицы и определим числовое значение тормозного пути:

$$[l] = \frac{м^2 \cdot с^2}{с^2 \cdot м} = м; \quad \{l\} = \frac{169}{2 \cdot 10 \cdot 0,1} = 84,5; \quad l = 84,5 \text{ м}.$$

Ответ: $l = 84,5$ м.

2-й уровень сложности

20.17. Какую силу необходимо приложить, чтобы равномерно двигать вверх вагонетку массой 600 кг по эстакаде с углом наклона 20°. Силой трения можно пренебречь.

20.18. Прикладывая силу 40 Н, перемещают ящик массой 8 кг вверх по наклонной плоскости с углом наклона 15°. С каким ускорением движется ящик? Силой трения можно пренебречь.

20.19. Тело массой 10 кг соскальзывает с наклонной плоскости, угол наклона которой равен 40°. Определите силу трения, которая действует на тело, если оно движется с ускорением 2 м/с^2.

20.20. Тело массой 3 кг соскальзывает с наклонной плоскости, угол наклона которой равен 30°. С каким ускорением соскальзывает тело, если сила трения равна 10 Н?

20.21. На наклонной плоскости поместили кубик, коэффициент трения которого 0,5. Определите ускорение, с которым кубик будет соскальзывать, если угол наклона плоскости будет составлять 30°. При каком коэффициенте трения он будет находиться в состоянии покоя?

20.22. Брусок соскальзывает с наклонной плоскости, угол наклона которой равен 45°, с ускорением 3,65 м/с^2. Определите коэффициент трения бруска о плоскость.

20.23. На наклонной плоскости длиной 6 м и высотой 3 м находится груз массой 30 кг. Какую силу необходимо приложить, чтобы переместить этот груз вверх по наклонной плоскости с ускорением 1,4 м/с^2, зная, что коэффициент трения равен 0,12?

20.24. Под действием силы 430 Н тело массой 50 кг движется с ускорением 1 м/с^2 вверх по наклонной плоскости, длина которой 5 м, а высота 3 м. Определите коэффициент трения.

3-й уровень сложности

20.25. Автомобиль массой 2 т поднимается на гору, наклон которой составляет 0,2*. На участке пути 32 м скорость движения автомобиля возросла с 21,6 км/ч до 36 км/ч. Считая движение автомобиля равноускоренным, определите силу тяги двигателя, если коэффициент трения равен 0,02.

20.26. Нагруженный самосвал массой 60 т поднимается по склону длиной 1 км с наклоном 0,02*. Скорость движения самосвала в начале склона была 72 км/ч, а в конце уменьшилась до 57,6 км/ч. Определите силу тяги двигателя, если сила трения равна 58,8 Н.

20.27. С вершины наклонной плоскости, высота которой 10 м, а угол наклона к горизонту 30°, начинает соскальзывать брусок. Сколько времени он будет спускаться и какой будет скорость его движения в конце спуска, если коэффициент трения бруска о плоскость равен 0,1.

20.28. Ящик, соскальзывая по наклонной плоскости с углом наклона 30°, получает в конце плоскости скорость 8 м/с при коэффициенте трения 0,2. Определите высоту наклонной плоскости.

20.29. Вагон спускается с сортировочной горки без начальной скорости. Высота сортировочной горки равна 40 м, а длина спуска — 400 м. Коэффициент трения колес вагона о рельсы составляет 0,05. Определите скорость, которую приобретает вагон в конце сортировочной горки.

---

* Наклон равен отношению высоты h наклонной плоскости к ее длине l, т. е. синусу угла наклона плоскости к горизонту.

20.30. Тело массой 200 кг равномерно тянут по наклонной плоскости, которая образует угол 30° с горизонтом, прикладывая силу 1,5 кН вдоль плоскости. С каким ускорением тело будет соскальзывать с наклонной плоскости, если его отпустить?

20.31. Во время равномерного подъема груза по наклонной плоскости, которая образует с горизонтом угол 30°, надо приложить силу 600 Н. Если груз отпустить, то он соскользнет с ускорением 3,8 м/с^2. Определите массу этого груза.

20.32. Чтобы удерживать тележку на наклонной плоскости, угол наклона которой равен 30°, достаточно приложить силу 40 Н, а чтобы затянуть эту тележку вверх, двигая его по этой плоскости равномерно, необходимо приложить усилия 80 Н. Определите коэффициент трения.

20.33. Санки спускаются с горы с углом наклона 30° без начальной скорости за 4 с. Какое расстояние и за какое время пройдут санки дальше по горизонтальному участку пути до полной остановки, если коэффициент трения на всем пути составляет 0,1?

III. Движение по окружности

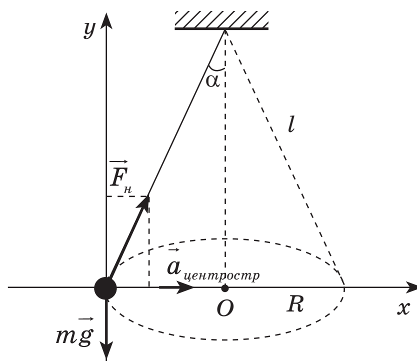
Пример решения задач

Задача. Конический маятник, длина подвеса которого 1,15 м, вращается с периодом 2 с так, что подвес образует с вертикалью угол 30°. Определите по этим данным ускорение свободного падения.

Дано:
$l = 1{,}15$ м
$T = 2$ с
$\alpha = 30°$

g — ?

Решение



На тело действуют две силы: сила тяжести ($m\vec{g}$) и сила натяжения подвеса ($\vec{F}_н$), которые и предопределяют движение тела с центростремительным ускорением: $a_{центростр} = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R^2}{RT^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ (в преобразованиях мы учли, что линейная скорость определяется по формуле $v = \frac{2\pi R}{T}$).

По второму закону Ньютона: $\vec{a}_{центростр} = \vec{F}_н + m\vec{g}$.

После проектирования векторов на координатные оси OX и OY, которые мы направим обычным способом, получим:

$$OX:\ ma_{центростр} = F_н \sin\alpha;$$

$$OY:\ 0 = F_н \cos\alpha - mg.$$

Т. е. имеем систему уравнений: $\begin{cases} \frac{4\pi^2 Rm}{T} = F_н \sin\alpha, \\ mg = F_н \cos\alpha. \end{cases}$

Поделим первое уравнение на второе, получим:

$$\frac{4\pi^2 R}{gT^2} = \operatorname{tg}\alpha, \text{ откуда } g = \frac{4\pi^2 R}{T^2 \operatorname{tg}\alpha}.$$

Из рисунка видно, что $R = l\sin\alpha$, тогда после подстановки получим конечную формулу:

$$g = \frac{4\pi^2 l\cos\alpha}{T^2}.$$

Проверим единицы:

$$[g] = \frac{м}{с^2}.$$

Определим числовое значение ускорения свободного падения:

$$\{g\} = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1{,}15 \cdot \sqrt{3}}{2^2 \cdot 2} \approx 9{,}81.$$

Таким образом, $g \approx 9{,}81$ м/с^2.

Ответ: $g \approx 9{,}81$ м/с^2.

2-й уровень сложности

20.34. С какой направленной горизонтально силой давит вагон массой 40 т на рельсы, когда движется по закруглению радиусом 800 м со скоростью 36 км/ч?

20.35. С какой силой давит вагон трамвая массой 19 т на трамвайную колею, если рельсы размещены: а) горизонтально; б) под углом 4° к горизонту? Ускорение свободного падения равно 9,8 м/с^2.

20.36. Определите радиус закругления трамвайной колеи шириной 1 м, если внешний рельс размещен на 2,5 см выше, чем внутренний. Трамвай проходит закругление на скорости 18 км/ч.

20.37. Поезд движется по закруглению радиусом 800 м со скоростью 54 км/ч. На сколько сантиметров внешний рельс должен быть выше внутреннего, если ширина железнодорожного пути 1,5 м?

20.38. Автогонщик движется на повороте со скоростью 126 км/ч. Под каким углом к горизонту необходимо наклонить полотно дороги радиусом 122,5 м, чтобы этот поворот был безопасным даже во время гололедицы?

20.39. Шоссе имеет вираж с наклоном 10° и радиусом кривизны 125 м. На какую максимальную скорость рассчитан вираж?

20.40. Велотрек, рассчитанный на максимальную скорость движения 20 м/с, имеет закругление. В этом месте трек имеет наклон к горизонту 45°. Определите радиус кривизны закругления.

20.41. С какой скоростью должен проходить мотоциклист середину выгнутого моста с радиусом кривизны 50 м, чтобы его сила давления в этот момент была в 5 раз меньше, чем во время движения по горизонтальному участку пути?

20.42. Вогнутый мост, радиус кривизны которого 80 м, выдерживает максимальную нагрузку 40 т. С какой скоростью может двигаться по нему автомобиль массой 30 т, чтобы мост не разрушился?

20.43. Ведро с водой вращают в вертикальной плоскости на веревке длиной 55 см. С какой наименьшей частотой можно вращать ведро, чтобы при прохождении верхней точки вода из него не выливалась?

20.44. На веревке длиной 40 см в вертикальной плоскости равномерно вращают шар массой 2,5 кг. С какой угловой скоростью можно вращать шар, чтобы веревка не оборвалась, если она выдерживает натяжение 50 Н?

20.45. Во время тренировок на горизонтальной центрифуге радиусом 5 м космонавт приобрел центростремительное ускорение $8g$. С какой частотой вращается центрифуга?

3-й уровень сложности

20.46. Шарик массой 200 г вращается в вертикальной плоскости на подвесе, длина которого 1 м. Ось вращения расположена на высоте 3 м над полом. В момент прохождения нижней точки шарик оторвался и упал на расстоянии 5 м (по горизонтали) от места отрыва. Определите силу натяжения подвеса в момент разрыва. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

20.47. Гиря, привязанная к веревке длиной 1,5 м, вращается в вертикальной плоскости с частотой 10 об/мин. В нижней точке траектории на высоте 3,5 м от пола гиря отрывается. Определите дальность ее полета.

20.48. Грузик массой 200 г, привязанный к подвесу длиной 40 см, вращают в горизонтальной плоскости так, что подвес описывает коническую поверхность, отклоняясь на 30°. Определите угловую скорость вращения грузика и силу натяжения подвеса.

20.49. Шарик массой 300 г, подвешенный на нити длиной 40 см, вращается в горизонтальной плоскости. Определите силу натяжения нити и скорость вращения шарика, если нить образует с вертикалью угол 60°. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

20.50. Грузик массой 150 г, привязанный к веревке длиной 50 см, отклонили от положения равновесия и отпустили. Определите силу натяжения веревки в момент, когда угол между веревкой и вертикалью составляет 45°. Грузик в этот момент имеет скорость 5 м/с.

20.51. Песчинка соскальзывает с диска, когда его плоскость образует с горизонтом угол 30°. С какой частотой следует вращать диск в горизонтальной плоскости, чтобы песчинка, которую разместили на расстоянии 5 см от центра диска, не слетела с него во время вращения?

20.52. Детский аттракцион «Колесо смеха» представляет собой коническую пластиковую поверхность с углом 160° при вершине, которая вращается вокруг оси конуса. Удержится ли ребенок на этой поверхности, находясь на расстоянии 1 м от вершины, когда колесо неподвижно и когда оно вращается с частотой 30 об/мин? Коэффициент трения составляет 0,2.

IV. Движение системы связанных тел

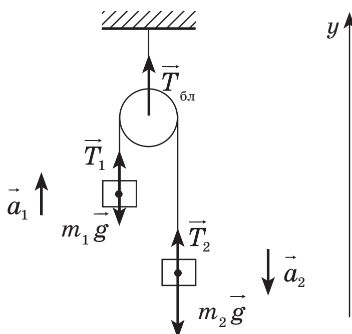
Пример решения задач

Задача. На невесомой нерастяжимой нити, переброшенной через невесомый блок, подвешены два грузика массами m_1 и m_2. Найдите ускорение грузиков и силы натяжения всех нитей.

Дано:
m_1
m_2

a — ?
T_1 — ?
T_2 — ?
$T_{бл}$ — ?

Решение



Предположим, что $m_2 > m_1$, тогда понятно, что ускорение грузика m_2 направлено вниз, а грузика m_1 — вверх.

Поскольку тела движутся с ускорением, то по второму закону Ньютона: $\begin{cases} m_1\vec{a}_1 = \vec{T}_1 + m_1\vec{g}, \\ m_2\vec{a}_2 = \vec{T}_2 + m_2\vec{g}. \end{cases}$

Грузики связаны нерастяжимой нитью, поэтому их ускорения по модулю равны, т. е. $\left|\vec{a}_1\right| = \left|\vec{a}_2\right| = a$. Блок свободно вращается, натяжение нити по обе стороны блока одинаково, тогда $\left|\vec{T}_1\right| = \left|\vec{T}_2\right| = T$.

Спроектируем векторы на вертикальную ось OY, направленную вверх, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1 a = T - m_1 g, \\ -m_2 a = T - m_2 g. \end{cases}$$

Из первого уравнения вычтем второе. Получим:

$$(m_1 + m_2)a = (m_2 - m_1)g, \text{ отсюда } a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g.$$

Мы выяснили, что силы натяжения нитей, к которым подвешены грузики, одинаковы. Выразим силу натяжения этих нитей, например, из первого уравнения: $T = m_1(g + a)$ и, подставляя выражение для ускорения, получим: $T = m_1\left(g + \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g\right)$; после упрощения:

$$T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}.$$

Сила натяжения нити, на которой подвешен блок:

$$T_{\text{бл}} = 2T = \frac{4m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}.$$

Ответ: $a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g$; $T_1 = T_2 = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$; $T_{\text{бл}} = \frac{4m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$.

1-й уровень сложности

20.53. На одном конце невесомой нерастяжимой веревки, переброшенной через неподвижный блок, висит груз массой 7 кг. С которой силой надо тянуть за свободный конец веревки, чтобы груз поднимался с ускорением 1,2 м/с^2? Ускорение свободного падения g = 9,8 м/с^2.

2-й уровень сложности

20.54. К концам невесомого нерастяжимого подвеса, переброшенного через неподвижный блок, прикреплены грузы массой 2 кг и 2,1 кг. Определите, с каким ускорением будут двигаться грузы, а также силу натяжения веревки. Трением в блоке можно пренебречь.

20.55. На концах нити, переброшенной через неподвижный блок, подвешены гирьки массой 11 г и 13 г. Когда гирьки отпустили, система пришла в движение с ускорением 81,8 см/с^2. Определите по этим данным ускорение свободного падения.

20.56. К концам нити, переброшенной через неподвижный блок, подвешены грузики массой 1 кг и 6 кг. Определите вес каждого грузика во время движения.

20.57. К концам веревки, переброшенной через неподвижный блок, подвешены грузики массой 600 г и 400 г. Определите скорость их движения через 2 с после начала движения. С какой силой веревка давит на блок? Трением в блоке можно пренебречь.

20.58. На концах тонкой нити, переброшенной через неподвижный блок, подвесили на одной высоте два грузика разной массы. Через 2 с после начала движения расстояние между ними составляло 48 см. Определите массу более тяжелого грузика (m_2), если масса более легкого равна 100 г. Трением в блоке можно пренебречь.

20.59. Два тела массой $m_1 = 0{,}2$ кг и $m_2 = 0{,}3$ кг, связанные между собой невесомой нитью, лежат на гладкой горизонтальной поверхности. С каким ускорением будут двигаться тела, если к телу m_1 приложить силу 2 Н? С какой силой натягивается при этом нить, которая их связывает?



20.60. Как изменится ответ (см. условие предыдущей задачи), если ту же силу приложить к другому телу?

20.61. Два бруска массой $m_1 = 0{,}2$ кг и $m_2 = 0{,}4$ кг связаны невесомой нитью и лежат на горизонтальной поверхности (см. рисунок к задаче 20.59). С какой силой, приложенной параллельно поверхности, можно тянуть первое тело, чтобы нить, которая выдерживает усилие 8 Н, не разорвалась? Изменится ли ответ, если приложить силу к другому телу? Трением можно пренебречь.

20.62. Когда два тела (см. рисунок к задаче 20.59) тянут горизонтально вправо, то сила натяжения нити, которая связывает тела, равна 24 Н, а когда с той же силой тянут влево, то сила натяжения равна 12 Н. Какую силу прикладывали к телу?

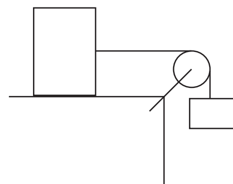
20.63. На горизонтальной поверхности лежат два бруска, связанные между собой нитью (см. рисунок к задаче 20.59), массой $m_1 = 200$ г и $m_2 = 300$ г. К правому бруску прикладывают силу 1 Н, а к левому — 0,6 Н. Определите силу натяжения нити и ускорение, с которым движутся бруски, если трением можно пренебречь.

20.64. Два тела, массы которых $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 0{,}5$ кг, связанные между собой нитью, тянут по горизонтальной поверхности, прикладывая силу 9 Н (см. рисунок). Определите ускорение движения тел и силу натяжения нити во время движения, если коэффициент трения тел 0,5.

20.65. Брусок массой 500 г движется под действием грузика массой 200 г с ускорением 0,2 м/с^2 (см. рисунок). Определите коэффициент трения между грузиком и поверхностью стола.

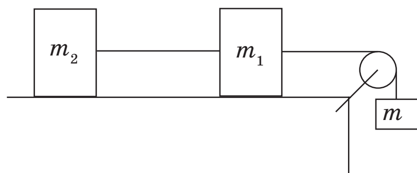


К задаче 20.64



К задаче 20.65

20.66. На гладком столе лежат связанные между собой тела, массы которых $m_1 = 200$ г и $m_2 = 300$ г (см. рисунок). К телу m_1 на нити, перекинутой через неподвижный блок, закрепленный на краю стола, подвешен грузик массой $m = 100$ г. Определите ускорение, с которым движутся тела, а также силу натяжения нити. Трением можно пренебречь.



20.67. Решите предыдущую задачу при условии, что коэффициент трения для обоих тел одинаков и равен 0,14.

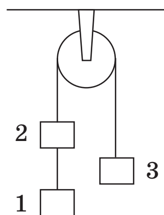
3-й уровень сложности

20.68. Через неподвижный блок переброшена нить, к концам которой подвешены грузики массой по 200 г каждый. На один из них кладут маленький кубик массой 20 г. Определите ускорение, с которым будут двигаться грузики, силу натяжения нити и силу, с которой нить давит на блок. Трением в блоке можно пренебречь.

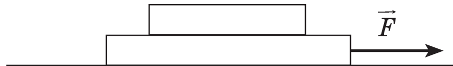
20.69. На неподвижном блоке уравновешены два грузика массой по 100 г каждый. Какой массы грузик следует положить на один из грузов, чтобы система пришла в движение с ускорением 0,2 м/с^2?

20.70. Через неподвижный блок переброшена невесомая нерастяжимая нить, к которой прикреплены, как показано на рисунке, три одинаковых грузика массой $m = 300$ г каждый. Определите ускорение, с которым будут двигаться грузики, и силу натяжения нити между ними.

20.71. На горизонтальной поверхности лежит доска массой 6 кг, а на ней брусок массой 2 кг, как показано на рисунке. Когда доску стали тянуть с горизонтально направленной силой, равной 60 Н, вся система пришла в движение. Определите ускорение движения бруска относительно доски, если коэффициент трения между доской и поверхностью составляет 0,2, а между бруском и доской 0,35.



К задаче 20.70



К задаче 20.71

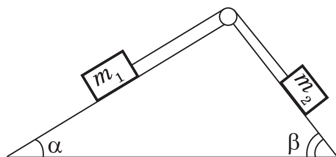
20.72. Груз массой 20 кг, который расположен на наклонной плоскости, привязан к одному концу шнура, переброшенного через блок, укрепленный на вершине наклонной плоскости. К другому концу того же шнура подвешено тело массой 4 кг. С каким ускорением будут двигаться тела, если угол наклона плоскости равен 30°, а коэффициент трения составляет 0,2?

20.73. Груз массой m с помощью нити, переброшенной через блок, тянет по наклонной плоскости груз такой же массы. Определите коэффициент трения, если грузы движутся с ускорением 2,2 м/с^2, а наклонная плоскость образует с горизонтом угол 30°.

20.74. Брусок массой 3 кг движется по наклонной плоскости под действием груза массой 2 кг, связанного с бруском невесомой нерастяжимой нитью, переброшенной через неподвижный блок, закрепленный на вершине наклонной плоскости. Какая сила действует на ось блока, если наклонная плоскость образует с горизонтом угол 30°? Трением можно пренебречь.

20.75. На вершине двух наклонных плоскостей с углами наклона $\alpha = 30°$ закреплен блок, через который переброшена невесомая нерастяжимая нить. К концам нити прикреплены два грузика, массы которых $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг. Определите ускорение, с которым движутся тела, если трением можно пренебречь.

20.76. На вершине двух наклонных плоскостей с углами наклона $\alpha = 30°$ и $\beta = 60°$ закреплен блок, через который переброшена невесомая нерастяжимая нить. К концам нити прикреплены два груза, массы которых $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 4$ кг (см. рисунок). Определите ускорение, с которым движутся тела, если коэффициенты трения обоих одинаковы: $\mu = 0{,}15$.



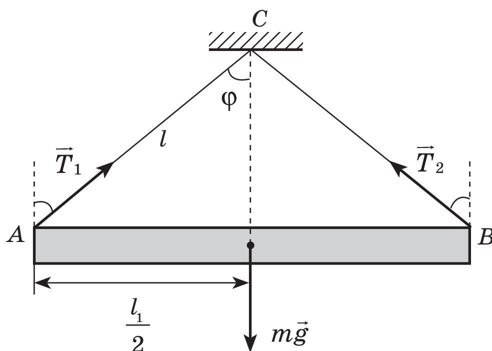
20.77. Решите предыдущую задачу при условии, что $m_1 = 4$ кг, а $m_2 = 3$ кг.

21. СТАТИКА

Примеры решения задач

Задача 1. Однородный стержень массой m и длиной l_1 подвесили в точке C на двух веревках AC и BC одинаковой длины l (см. рисунок). Определите натяжение веревок.

Дано:	*Решение*
m l_1 l	
T — ?	



На стержень действуют сила тяжести $(m\vec{g})$ и две силы натяжения веревок ($\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$), одинаковые по модулю ($|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$), поскольку стержень AB однородный и его сила тяжести приложена к нему посередине.

Стержень находится в равновесии, следовательно,

$$m\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0.$$

Спроектируем векторы на координатную ось OY, которую направим вертикально вверх. Записанное нами уравнение в проекциях будет иметь вид: $2T\cos\varphi - mg = 0$, откуда $T = \frac{mg}{2\cos\varphi}$.

По рисунку определим $\cos\varphi = \frac{\sqrt{l^2 - \left(\frac{l_1}{2}\right)^2}}{l} = \frac{\sqrt{4l^2 - l_1^2}}{2l}$ и после подстановки в выражение для определения силы натяжения T получим:

$$T = \frac{mgl}{\sqrt{4l^2 - l_1^2}}.$$

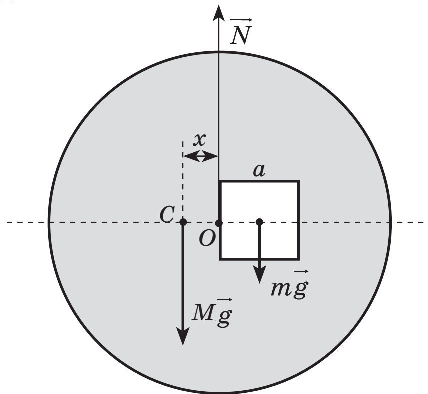
Ответ: сила натяжения веревок $T = \frac{mgl}{\sqrt{4l^2 - l_1^2}}$.

Задача 2. Определить положение центра тяжести однородной круглой пластины радиусом R, в которой вырезали квадратное отверстие со стороной $l = R/3$ так, как показано на рисунке.

Дано:
R
$l = \frac{R}{3}$

x — ?

Решение



Вырезанный квадрат мысленно поместим на его бывшее место, и восстановленную пластину закрепим в точке O на горизонтальной оси.

Пластина уравновешена, поэтому равнодействующая сил, приложенных к ней, должна равняться нулю:

$$M\vec{g} + m\vec{g} + \vec{N} = 0 .$$

Согласно правилу моментов сумма моментов всех сил относительно оси O тоже должна равняться нулю:

$$-Mgx + mg\frac{l}{2} = 0 .$$

Отсюда: $$x = \frac{mgl}{2Mg} = \frac{ml}{2M} . \quad (1)$$

Пусть h — толщина пластины, ρ — плотность вещества, из которого она изготовлена. Тогда масса квадратной части:

$$m = \rho l^2 h = \frac{\rho R^2 h}{9} .$$

Массу остальной пластины найдем как разность между массой целой пластины и массой квадратной части:

$$M = \rho \pi R^2 h - \rho l^2 h = \rho h(\pi R^2 - l^2) .$$

Учтем, что согласно условию $l = \frac{R}{3}$. Тогда:

$$M = \rho h(\pi R^2 - \frac{R^2}{9}) = \frac{\rho R^2 h(9\pi - 1)}{9} .$$

Подставив в формулу (1) выражения для m и M, получим:

$$x = \frac{\rho R^2 hR \cdot 9}{9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \rho R^2 h(9\pi - 1)} = \frac{R}{6(9\pi - 1)}.$$

Ответ: $x = \frac{R}{6(9\pi - 1)}$.

1-й уровень сложности

21.1. Какими могут быть наибольшее и наименьшее значения равнодействующей сил 60 Н и 40 Н?

21.2. Может ли равнодействующая сил 12 Н и 18 Н иметь значение: а) 5 Н; б) 15 Н; в) 32 Н? От чего это зависит?

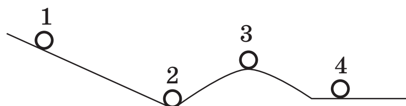
21.3. Как следует приложить к телу три силы: $F_1 = 4$ Н, $F_2 = 6$ Н и $F_3 = 10$ Н, — чтобы тело находилось в состоянии равновесия?

? **21.4.** Мальчик, двигаясь равномерно, тянет за веревку санки. Какая сила уравновешивает силу трения санок?

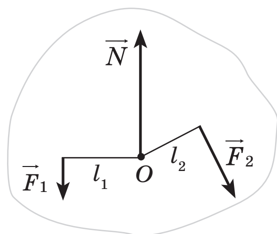
? **21.5.** Назовите виды равновесия шарика для случаев, изображенных на рисунке.

? **21.6.** В каком равновесии находится канатоходец?

21.7. Найдите моменты сил, изображенных на рисунке, если $\left|\vec{F}_1\right| = 20$ Н, $\left|\vec{F}_2\right| = 50$ Н, а $l_1 = 0{,}55$ м, $l_2 = 0{,}22$ м. Будет ли это тело в равновесии?

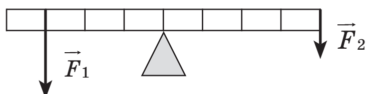


К задаче 21.5



К задаче 21.7

21.8. Сравните моменты сил, изображенных на рисунке, если $\left|\vec{F}_1\right| = 1{,}5\left|\vec{F}_2\right|$. Будет ли это тело в равновесии?



21.9. К рычагу подвешены грузы массой 15 кг и 25 кг. Длина плеча, к которому подвешен больший груз,— 32 см. Будет ли рычаг в равновесии, если: а) длина второго плеча равняется 53 см; б) длина рычага составляет 86 см?

21.10. Плечи рычага, находящегося в состоянии равновесия, имеют длины 0,4 м и 30 см. К короткому плечу приложена в вертикальном направлении сила 120 Н. Какая сила приложена в вертикальном направлении к длинному плечу? Массой рычага можно пренебречь.

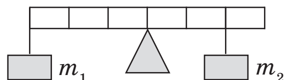
21.11. К правому плечу рычага длиной 26 см приложена сила 750 Н. Какая сила приложена к левому плечу, длина которого 39 см, если рычаг находится в состоянии равновесия? Массой рычага можно пренебречь.

21.12. К левому плечу рычага, который находится в состоянии равновесия, приложена сила 75 Н, а к правому — 180 Н. Какую длину имеет левое плечо, если длина правого плеча равна 15 см? Массой рычага можно пренебречь.

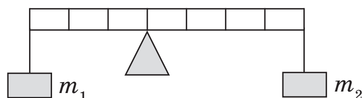
21.13. Сила, которая действует на конец длинного плеча рычага, находящегося в состоянии равновесия, равна 150 Н, а сила, которая действует на конец короткого плеча, составляет 900 Н. Определите длину короткого плеча, если длинное плечо имеет длину 1,2 м. Массой рычага можно пренебречь.

21.14. Масса груза m_1 составляет 15 кг (см. рисунок). Определите массу второго груза, если рычаг уравновешен. Массой рычага можно пренебречь.

21.15. На концах однородного стержня, изображенного на рисунке, подвешены два груза. Вес второго груза составляет 54 Н. Какой вес имеет первый груз, если рычаг находится в состоянии покоя? Массой рычага можно пренебречь.



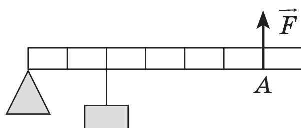
К задаче 21.14



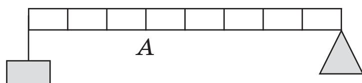
К задаче 21.15

21.16. Вес груза составляет 63 Н. Какую силу следует приложить в точке *A* (см. рисунок), чтобы рычаг был уравновешен? Массой рычага можно пренебречь.

21.17. Какую силу следует приложить в точке A и в каком направлении, чтобы рычаг (см. рисунок) был в равновесии? Масса подвешенного к рычагу груза 500 кг. Массой рычага можно пренебречь.



К задаче 21.16



К задаче 21.17

2-й уровень сложности

? 21.18. Можно ли натянуть веревку горизонтально так, чтобы она не провисала?

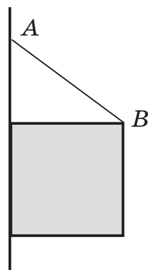
? 21.19. Почему сильно закрученные гайки легче откручивать длинным ключом?

? 21.20. Почему разматывать нить с полной катушки легче, чем с катушки, на которой нить почти закончилась?

? 21.21. Почему ведущие колеса трактора имеют значительно больший диаметр, чем ведущие колеса автомобиля?

? 21.22. Почему рукой, согнутой в локте, можно поднять значительно больший груз, чем вытянутой рукой?

? 21.23. Может ли удержаться в равновесии ящик, который висит на веревке AB (см. рисунок), если сила трения отсутствует?



? 21.24. По грунтовой ухабистой дороге едут два грузовика: один с дровами, другой с каменным углем. У которого из них риск опрокинуться выше, если массы грузовиков одинаковы?

? 21.25. Какой автомобиль — грузовой или легковой — может с большей скоростью двигаться на повороте? Почему?

? 21.26. Почему танкеры после разгрузки заполняют водой? Обоснуйте свой ответ.

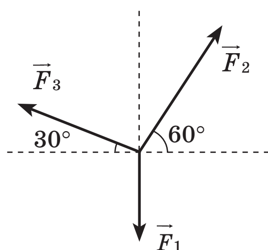
? 21.27. Почему сосновые леса сильнее повреждаются ураганами, чем ельники?

21.28. Найдите равнодействующую сил, изображенных на рисунке, и ее проекции на координатные оси, если $\left|\vec{F}_1\right| = 100$ Н, $\left|\vec{F}_2\right| = 50\sqrt{3}$ Н, $\left|\vec{F}_3\right| = 50$ Н.

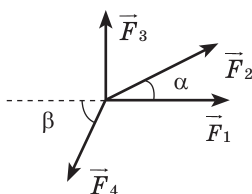
21.29. Найдите равнодействующую сил, изображенных на рисунке, и ее проекции на координатные оси, если $\left|\vec{F}_1\right| = 50$ Н, $\left|\vec{F}_2\right| = 100$ Н, $\left|\vec{F}_3\right| = 60$ Н, $\left|\vec{F}_4\right| = 200$ Н, $\alpha = 30°$, $\beta = 60°$.

21.30. Шарик массой 600 г и диаметром 10 см подвешен на невесомой нерастяжимой нити длиной 8 см, один конец которой прикреплен к стене. С какой силой шарик давит на стену?

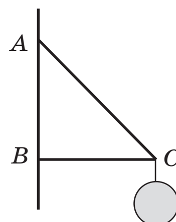
21.31. Определите силы, которые действуют на стержень AC и трос BC, если масса подвешенного шара 80 кг, длина стержня $AB = 1$ м, а длина троса $BC = 1{,}2$ м (см. рисунок). Весом стержня и троса можно пренебречь.



К задаче 21.28



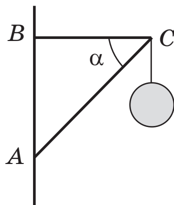
К задаче 21.29



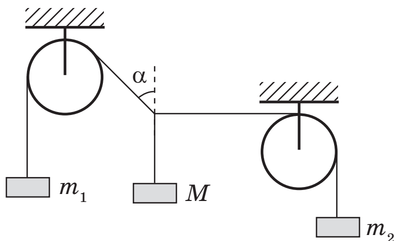
К задаче 21.31

21.32. Определите силы упругости, которые возникают в стержнях AC и BC (см. рисунок), если масса груза 50 кг, а угол $\alpha = 45°$. Весом стержней можно пренебречь.

21.33. Груз массой $M = 10$ кг уравновешен двумя другими грузами массой m_1 и m_2, причем $m_1 = 18$ кг (см. рисунок). Определите массу груза m_2 и угол α.



К задаче 21.32



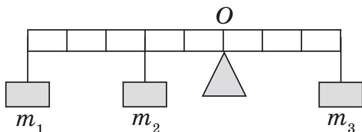
К задаче 21.33

21.34. К концам легкого однородного стержня, длина которого 2,5 м, подвешены грузы, массы которых $m_1 = 18$ кг и $m_2 = 54$ кг. На каком расстоянии от середины стержня должна быть опора, чтобы стержень находился в равновесии?

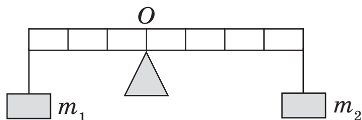
21.35. Стержень, к концам которого подвешены грузики массой 500 г и 700 г, находится в равновесии, если расстояние от опоры до середины стержня составляет 8 см. Определите длину стержня. Массой стержня можно пренебречь.

21.36. Какую массу m_3 имеет третий груз (см. рисунок), если массы первых двух составляют $m_1 = 7$ кг и $m_2 = 3{,}5$ кг? Рычаг находится в состоянии равновесия; его массой можно пренебречь.

21.37. Рычаг, изображенный на рисунке, находится в состоянии равновесия. Определите его массу, если массы грузиков равны $m_1 = 4$ кг и $m_2 = 2{,}5$ кг. Массой рычага можно пренебречь.

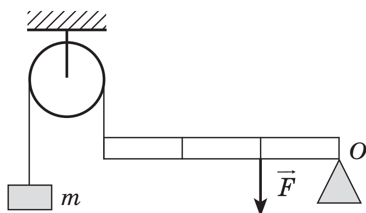


К задаче 21.36

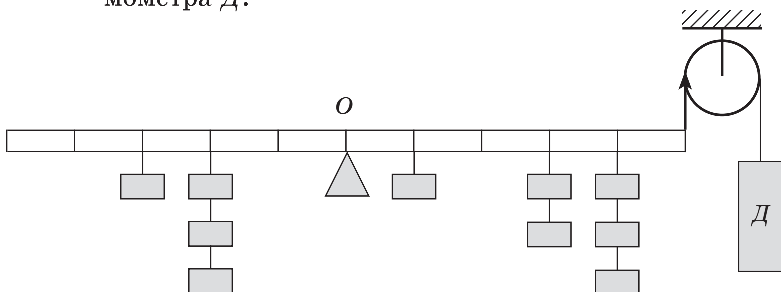


К задаче 21.37

21.38. Какая сила F уравновешивает груз, масса которого $m = 8$ кг (см. рисунок)? Массой рычага можно пренебречь.



21.39. К рычагу прикреплены грузики массой по 100 г так, как показано на рисунке. Определите показания динамометра *Д*.



21.40. Однородная балка длиной 4 м и весом 4000 Н подперта на расстоянии 1,9 м от ее правого конца. На каком расстоянии от левого конца должен стать на балку мальчик массой 40 кг, чтобы балка была в состоянии равновесия?

21.41. К концам стержня, масса которого 5 кг, а длина — 60 см, подвешены грузы массой 20 кг и 5 кг. Где надо закрепить подвес, чтобы стержень был в равновесии?

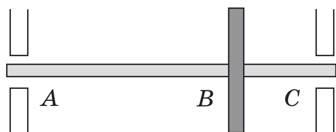
21.42. Два однородных шара, массы которых равны соответственно 10 кг и 12 кг, а радиусы — 4 см и 6 см, соединили однородным стержнем массой 2 кг и длиной 10 см так, что центры шаров лежат на продолжении оси стержня. Где надо закрепить подвес, чтобы система была в состоянии равновесия?

21.43. Железный лом массой 10 кг и длиной 1,5 м лежит на ящике, выступая за его левый край на 40 см и на 60 см — за правый край. Какую силу необходимо приложить, чтобы поднять лом: а) за левый конец; б) за правый конец?

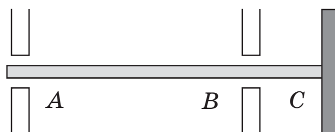
21.44. Бревно длиной 3 м и массой 100 кг поднимают с помощью двух канатов. Определите силы натяжения канатов, если они закреплены на расстояния 0,3 м и 1,2 м от концов бревна.

21.45. На вал AC массой 5 кг надели шкив B массой 15 кг, как изображено на рисунке. Какие силы действуют на подшипники A и C, если $AC = 1$ м, $BC = 30$ см?

21.46. С какой силой давит вал массой 8 кг, изображенный на рисунке, на подшипники A и B, если на валу закреплен шкив C массой 30 кг, а $AB = 80$ см, $BC = 20$ см?



К задаче 21.45



К задаче 21.46

21.47. Два однородных шара одинакового радиуса соединеные в точке соприкосновения. Масса одного из шаров вдвое больше массы другого. Определите положение центра тяжести двух шаров.

21.48. Два шара одинакового объема, цинковый и алюминиевый, скреплены в точке соприкосновения. Найдите положение центра тяжести системы двух шаров.

21.49. Два медных шара соединены в точке соприкосновения. Определите положение центра тяжести двух шаров, если известно, что радиус одного из них втрое больше, чем другого.

3-й уровень сложности

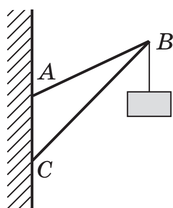
? 21.50. Для чего конькобежцы, разгоняясь, размахивают руками?

? 21.51. Почему тормоза в автомобилях и велосипедах ставят на задние, а не на передние колеса?

? 21.52. Почему не опрокидываются люльки подвесной дороги?

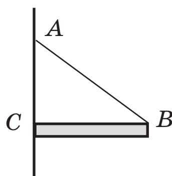
? 21.53. На вершине полушария лежит в горизонтальном положении тоненькая линейка. Какой вид равновесия наблюдается в этом случае?

21.54. Определите силы, которые действуют на тягу AB и укосину BC кронштейна ABC, изображенного на рисунке, если масса подвешенного в точке B груза 10 кг. Известно также, что $AB = 60$ см, $BC = 80$ см, $AC = 40$ см. Массами балки и укосины пренебрегите.

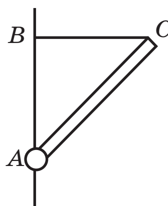


21.55. Конец балки длиной 4 м и массой 1 т поддерживается железной тягой AB, как это показано на рисунке. Определите диаметр тяги, если допустимое напряжение составляет 98 МПа; $AC = 3$ м.

21.56. Нижний конец однородного стержня AC массой 3 кг, удерживаемого в состоянии равновесия горизонтальной растяжкой BC, как это показано на рисунке, прикреплен к шарниру так, что угол $BAC = 45°$. Определите силу натяжения растяжки BC, а также силу реакции шарнира и ее направление. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.



К задаче 21.55

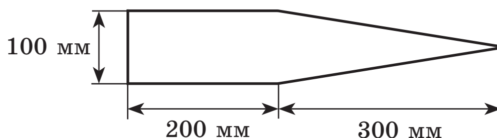


К задаче 21.56

21.57. Стремянка стоит возле стены. Определите максимальный угол между стеной и стремянкой, при котором стремянка еще не будет соскальзывать, если коэффициент трения между полом и стремянкой составляет 0,45, а между стеной и стремянкой трение отсутствует.

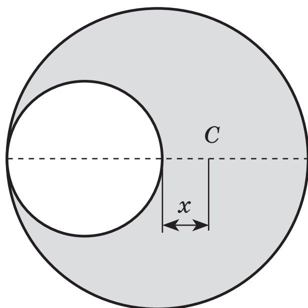
21.58. Четырехметровая стремянка массой $m = 10$ кг стоит под углом $\alpha = 30^\circ$ к стене. Коэффициент трения скольжения между стеной и стремянкой $\mu_1 = 0{,}3$, а между полом и стремянкой $\mu_2 = 0{,}5$. Определите высоту, на которую может подняться по стремянке человек массой $M = 50$ кг.

21.59. Определите положение центра тяжести однородной пластины, размеры и форма которой изображены на рисунке.

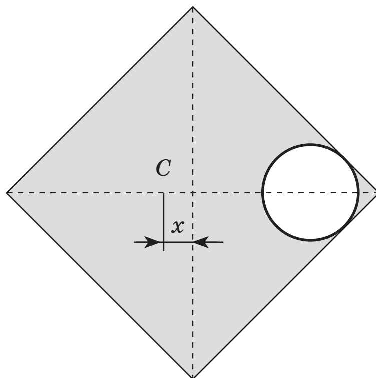


21.60. Определите положение центра тяжести однородной круглой пластины радиусом R, из которой вырезан круг радиусом $\frac{R}{2}$, как показано на рисунке.

21.61. Определите положение центра тяжести однородной квадратной пластины со стороной l, из которой вырезан круг радиусом $\frac{l}{4}$, как показано на рисунке.



К задаче 21.60



К задаче 21.61

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

22. ИМПУЛЬС. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

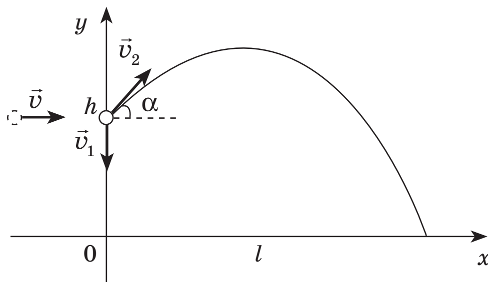
Пример решения задач

Задача. Снаряд, летевший горизонтально на высоте 30 м со скоростью 100 м/с, разорвался на два одинаковых осколка. Один из них полетел вертикально вниз со скоростью 150 м/с. На каком расстоянии друг от друга осколки упали на землю?

Дано:
$v = 100\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$m_1 = m_2 = \frac{m}{2}$
$h = 30$ м
$v_1 = 150\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$g = 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

l — ?

Решение



До взрыва импульс снаряда составлял $\vec{p} = m\vec{v}$. После взрыва по закону сохранения импульса суммарный импульс двух осколков должен остаться таким, каким он был до взрыва, т. е. $m\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ или, с учетом условия: $m\vec{v} = \frac{m}{2}\vec{v}_1 + \frac{m}{2}\vec{v}_2$.

Спроектируем векторы на координатные оси (OX направим горизонтально, OY вертикально) и получим:

OX: $mv = \frac{mv_2\cos\alpha}{2}$, следовательно, $2v = v_2\cos\alpha$;

OY: $0 = -\frac{m}{2}v_1 + \frac{m}{2}v_2\sin\alpha$, тогда $v_1 = v_2\sin\alpha$.

После взрыва один осколок, согласно условию, летит вертикально вниз и падает под точкой взрыва. Второй осколок летит под углом α к горизонту, поэтому уравнение его движения по OY будет иметь вид: $h+v_2\sin\alpha\cdot t-\frac{gt^2}{2}=0$. Учитывая, что $v_1=v_2\sin\alpha$, запишем полученное квадратное уравнение в обычном виде, умножив его на 2: $gt^2-2v_1t-2h=0$, откуда определим время полета:

$$t=\frac{v_1+\sqrt{v_1^2+2gh}}{g}.$$

По OX второй осколок движется равномерно и упадет на расстоянии l от точки падения первого осколка. Таким образом, расстояние между точками падения осколков будет определяться уравнением: $l=x=v_2\cos\alpha\cdot t=2vt$, а после подстановки в это уравнение выражения для времени получим конечную формулу:

$$l=\frac{2v}{g}\left(v_1+\sqrt{v_1^2+2gh}\right).$$

Проверим единицы: $[l]=\frac{\text{м}\cdot\text{с}^2}{\text{м}}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}+\sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}+\frac{\text{м}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}}\right)=\text{м}$.

Выполним расчеты: $\{l\}=\frac{2\cdot100}{10}\left(150+\sqrt{150^2+2\cdot10\cdot30}\right)\approx6040$.

Таким образом, $l\approx6040$ м.

Ответ: расстояние между точками падения осколков составляет $l\approx6040$ м.

1-й уровень сложности

22.1. Может ли измениться импульс тела, если не изменились ни масса тела, ни модуль его скорости?

22.2. Может ли человек, стоя на идеально гладкой горизонтальной поверхности льда, сдвинуться с места, не упираясь ничем острым в лед?

22.3. Как космонавт может возвратиться на корабль, если фал случайно оборвется?

22.4. Тело, масса которого 3 кг, движется со скоростью 4 м/с. Вычислите импульс тела.

22.5. Определите импульс камня массой 120 г, который бросили со скоростью 5 м/с.

22.6. Мяч летит со скоростью 6 м/с. Вычислите массу мяча, если его импульс составляет 4,2 $\frac{кг \cdot м}{с}$.

22.7. С какой скоростью движется шар массой 63 г, если импульс его движения составляет 21 $\frac{кг \cdot м}{с}$?

22.8. С какой скоростью должен был бы двигаться легковой автомобиль, масса которого 1,5 т, чтобы у него был такой же импульс, как у грузовика массой 9 т, движущегося со скоростью 54 км/ч?

22.9. Определите массу африканского слона, если, двигаясь со скоростью 40 км/ч, он имеет такой же импульс, как и 6-тонный кит, движущийся со скоростью 27 км/ч.

22.10. Тележка массой 100 г движется со скоростью 3 м/с. Какое значение имеет его импульс? Какой импульс будет иметь система двух таких тележек, если они придут в движение со скоростью, втрое меньшей?

22.11. На сколько отличается импульс шара массой 50 г, летящего со скоростью 20 м/с, от импульса другого шара, масса которого в 3 раза, а скорость — в 4 раза больше, чем у первого?

22.12. Пуля массой 20 г двигалась со скоростью 650 м/с. После того как она прошла сквозь гипсокартонную стену, ее импульс уменьшился на 8 $\frac{кг \cdot м}{с}$. С какой скоростью стала двигаться пуля?

22.13. Мяч массой 200 г, который имел скорость 1,5 м/с, был пойман в полете. На сколько изменился импульс мяча?

22.14. Теннисист бьет ракеткой по мячу с силой 0,6 кН. Удар длится 0,001 с. На сколько изменяется импульс мяча?

22.15. Парашютист массой 100 кг перед раскрытием парашюта имеет скорость 100 м/с, а после раскрытия его скорость уменьшается до 10 м/с. Какая средняя сила действует на парашютиста во время раскрытия парашюта, которое длится приблизительно 3 с?

22.16. Мальчик ударил по неподвижному мячу, масса которого 80 г, и придал ему скорость 20 м/с. Определите среднюю силу удара, если удар длился 0,002 с.

22.17. В момент удара молотка массой 300 г по гвоздю скорость движения молотка составляет 5 м/с. Как долго длится удар, если средняя сила удара составляет 40 Н?

22.18. Санки с грузом, общая масса которых 15 кг, движутся со скоростью 8 м/с. Через какой промежуток времени от начала торможения остановятся санки, если во время торможения средняя сила сопротивления движению составляла 12 Н?

22.19. Из игрушечного пистолета вылетает шарик со скоростью 4 м/с. Определите скорость «отдачи» пистолета, если его масса составляет 100 г, а масса шарика 5 г.

22.20. С неподвижной лодки, масса которой 120 кг, прыгает мальчик массой 60 кг со скоростью 2 м/с. Определите скорость движения лодки после того, как с нее прыгнул мальчик.

? **22.21.** Кальмар сокращением мышц выталкивает из себя жидкость, вследствие чего перемещается и сам. Есть ли это примером реактивного движения? Свой ответ обоснуйте.

22.22. Резиновый шарик наполнили воздухом. Массы шарика и воздуха составляют соответственно 100 г и 150 г. Какую максимальную скорость приобретет шарик, если его отпустить? Заметьте, что после того как шарик отпустили, газ вытекает из него с постоянной скоростью 20 м/с; сопротивлением воздуха можно пренебречь.

22.23. Определите массу горючего, необходимого для придания одноступенчатой ракете массой 800 кг первой космической скорости, считая, что газы выбрасываются из ракеты со скоростью 2 км/с не постепенно, а мгновенно. Первая космическая скорость равна 7,9 км/с.

2-й уровень сложности

22.24. Шарик массой 25 г движется со скоростью 20 м/с. Определите изменение импульса шарика и среднюю силу удара при столкновении шарика с вертикальной стеной, если: а) шарик движется горизонтально и упруго отскакивает от стены; б) шарик движется горизонтально и прилипает к стене; в) шарик движется под углом 30° к стене и упруго отскакивает от нее. Во всех случаях считайте продолжительность удара равной 0,1 с.

22.25. Мяч массой 500 г бросили с балкона пятого этажа, и он после удара о землю подпрыгнул на высоту 0,8 м. На сколько изменился импульс мяча после удара, если высота этажа 2,5 м, а мяч двигался строго вертикально. Сопротивлением воздуха пренебрегите.

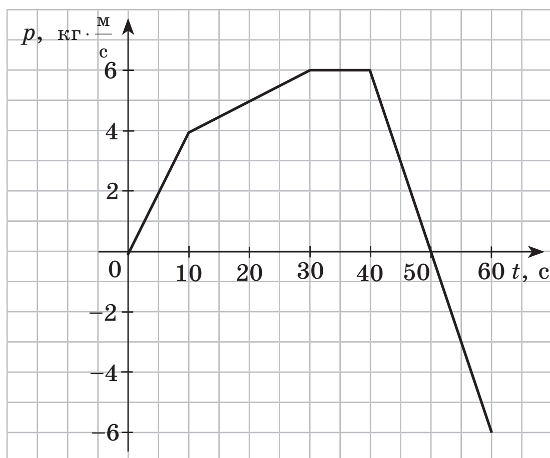
22.26. Протон, имея скорость $2 \cdot 10^4$ м/с, налетает на неподвижное ядро атома Гелия, вследствие чего скорость движения протона уменьшилась на $1{,}2 \cdot 10^4$ м/с. Определите скорость, с которой будет двигаться ядро Гелия после столкновения с протоном, если масса ядра в 4 раза больше массы протона.

22.27. Тело массой 7 кг движется в соответствии с уравнением $x = 3t + 4t^2$. Определите, какой импульс приобрело тело через 5 с после начала наблюдения движения, как этот импульс изменился и какая сила вызвала данное изменение.

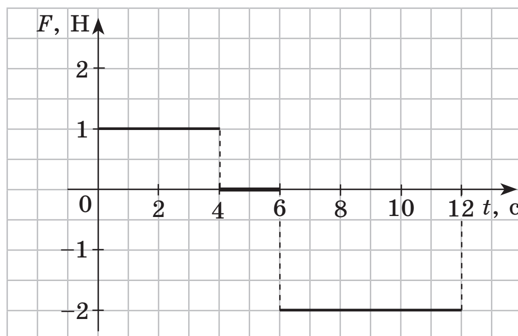
22.28. Уравнение движения материальной точки массой 2 кг задано уравнением $x = 1 + 5t^2$. Определите изменение импульса тела, случившееся за 2 с, и величину силы, вызвавшей это изменение.

22.29. Импульс тела массой 4 кг, начавшего свое движение из состояния покоя, за 20 с изменился на 80 $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Запишите уравнение движения этого тела.

22.30. На рисунке приведен график зависимости импульса тела от времени. Постройте график зависимости силы, действующей на это тело, от времени.



22.31. На рисунке представлен график зависимости силы, действующей на тело массой 2 кг, от времени. Постройте график зависимости импульса этого тела от времени, если начальная скорость движения тела 0 м/с.



22.32. На какое расстояние переместился мяч массой 500 г за 5 с, если в начальный момент ему был придан в горизонтальном направлении импульс 4 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$? Сопротивлением можно пренебречь.

22.33. Определите, на какое расстояние могло переместиться пушечное ядро массой 0,5 кг, если в момент выстрела оно получило импульс 6 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, направленный горизонтально, а пушка стояла на обрыве, высота которого над равниной 12,8 м.

22.34. Определите среднюю силу давления на ладонь во время стрельбы из пистолета Макарова, если темп стрельбы составляет 30 выстрелов за минуту, масса пули равна 8 г, а скорость, с которой она вылетает из ствола,— 315 м/с.

22.35. Автомат Калашникова, из которого пуля массой 8 г вылетает со скоростью 715 м/с, действует на плечо человека со средней силой 12 Н. Определите, сколько времени будут длиться 100 выстрелов.

? **22.36.** Почему запуск реактивных снарядов из минометов «Катюша», в отличие от дальнобойных пушек, не требовал массивных стволов для уменьшения отката во время выстрела («Катюши» имели лишь легкую направляющую раму)?

22.37. 25-тонный вагон движется по горизонтальному участку железнодорожного пути со скоростью 2 м/с. Его догоняет 15-тонный вагон, скорость которого 4 м/с. Какова будет их скорость после сцепления?

22.38. Платформа массой 140 кг движется со скоростью 1 м/с. Спортсмен, масса которого 60 кг, бежит со скоростью 5 м/с. Определите скорость движения платформы после того, как спортсмен запрыгнул на нее, если: а) спортсмен догоняет платформу; б) спортсмен движется навстречу платформе.

22.39. По реке сплавляют плот массой 120 кг. Он движется равномерно прямолинейно и за 10 мин проходит 300 м относительно берега. Определите скорость и направление движения плота после того, как с него прыгнул мальчик массой 65 кг со скоростью относительно берега 1 м/с. Рассмотрите случаи, когда: а) мальчик прыгнул в направлении движения плота; б) мальчик прыгнул против направления движения плота.

22.40. Два шарика движутся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями. Масса первого шарика 2 кг. Какую массу должен иметь второй шарик, чтобы после столкновения первый шарик остановился, а второй покатился в обратном направлении с той же по модулю скоростью?

22.41. Охотник плывет в лодке со скоростью 12 м/мин. После двух последовательных выстрелов, сделанных им в направлении движения, лодка остановилась. Определите массу лодки с охотником, если масса заряда 25 г, а скорость его вылета из ружья 500 м/с.

22.42. Истребитель массой 2,5 т летит со скоростью 396 км/ч. Насколько уменьшится скорость движения самолета после 15 с непрерывной стрельбы из автоматической пушки? Скорострельность пушки — 800 выстрелов в минуту, масса одного снаряда — 100 г, скорость вылета снаряда из пушки — 700 м/с.

22.43. Охотник стреляет из легкой надувной лодки, которая пребывает в состоянии покоя. Какую скорость получит лодка после выстрела, если масса охотника вместе с лодкой равна 120 кг, масса дроби — 35 г, а скорость вылета дроби из ружья составляет 320 м/с? Ствол ружья во время выстрела направлен под углом 60° к горизонту.

22.44. Снаряд массой 50 кг, который летит под углом 60° к горизонту со скоростью 800 м/с, попадает в неподвижную платформу, груженную песком, и застряет в нем, вследствие чего платформа приходит в движение со скоростью 1,6 м/с. Определите массу платформы.

22.45. Мальчик, масса которого 50 кг, перемещается с одного конца платформы на другой. Определите, насколько переместится относительно земли платформа, длина и масса которой равны соответственно 12 м и 100 кг, если до начала движения мальчика она была неподвижной. Трением можно пренебречь.

22.46. Рыбак массой 80 кг перешел с кормы на нос лодки, масса которой 120 кг. Лодка при этом сместилась на 1,4 м. На какое расстояние переместился рыбак относительно берега озера? В начальный момент лодка находилась в покое. Сопротивлением воды можно пренебречь.

22.47. Человек массой 60 кг перешел с одного конца плота на другой за 2,5 с. С какой скоростью двигался относительно воды плот, который до этого был неподвижным, если его длина 3,5 м, а масса 240 кг?

22.48. Из лодки выбирают канат, поданный с катера. Расстояние между лодкой и катером 55 м. Рассчитайте расстояния, пройденные лодкой и катером до их встречи, если масса лодки составляет 300 кг, а масса катера — 1,2 т.

22.49. Барон Мюнхгаузен утверждал, что сам вытянул из болота и себя, и своего коня. Возможно ли это? Ответ обоснуйте.

? 22.50. Космический аппарат движется с отключенными двигателями. Что произойдет, если на сопло ракеты надеть согнутую трубу, выходное отверстие которой будет направлено в сторону движения ракеты, и включить двигатели?

? 22.51. Будет ли увеличиваться скорость ракеты, если газы вырываются из ее сопла со скоростью, которая: а) больше скорости ракеты; б) равна скорости ракеты; в) меньше скорости ракеты? Ответ обоснуйте.

22.52. Ракета имеет массу 1 кг, где 200 г — это порох. Определите высоту подъема ракеты при условии, что газы при сгорании вылетают со скоростью 400 м/с.

22.53. Решите предыдущую задачу для случая, когда в ракете заложено 300 г пороха. Примите также во внимание, что за счет сопротивления воздуха реальная высота подъема ракеты уменьшается в 5 раз по сравнению с теоретической. Ускорение свободного падения считайте равным 9,8 м/с^2.

22.54. Ракета, масса которой с зарядом 250 г, взлетает вертикально вверх и достигает высоты 150 м. С какой скоростью выбрасываются газы из ракеты? Считайте, что ракета содержит заряд массой 50 г, который сгорает мгновенно.

3-й уровень сложности

? **22.55.** Какой импульс имеет однородный диск, вращающийся вокруг своей оси? Ось неподвижна. Обоснуйте свой ответ.

? **22.56.** Чему равен импульс Земли, возникающий в результате ее суточного вращения вокруг оси? Ответ обоснуйте.

? **22.57.** Снаряд, пущенный вертикально вверх, взорвался в верхней точке траектории. При этом образовалось три осколка. Докажите, что векторы начальных скоростей движения всех трех осколков лежат в одной плоскости.

22.58. Плот массой 800 кг плывет по реке со скоростью 1 м/с. С берега на плот перпендикулярно движению плота прыгает со скоростью 2 м/с человек массой 80 кг. Определите скорость плота с человеком и направление этой скорости.

22.59. Граната, брошенная под углом к горизонту, разрывается на две части в верхней точке траектории, когда имеет скорость 10 м/с. Больший осколок, масса которого составляет 60 % от массы гранаты, продолжает двигаться в том же направлении, и скорость его движения составляет 25 м/с. Определите скорость и направление движения меньшего осколка.

22.60. Граната, летевшая под углом 30° к горизонту со скоростью 15 м/с, разорвалась на два осколка одинаковой массы. Один из них полетел горизонтально в обратном направлении со скоростью 30 м/с. Определите скорость и направление движения второго осколка.

22.61. Взрыв разрывает камень на три части. Два осколка летят под прямым углом друг к другу: первый массой 1,5 кг отлетает со скоростью 10 м/с, второй осколок массой 3 кг — со скоростью 8 м/с. Третий осколок отлетает со скоростью 35 м/с. Какова масса третьего осколка? В каком направлении он летит?

22.62. Тележка массой 12 кг, двигаясь со скоростью 10 м/с, наталкивается на неподвижную тележку массой 20 кг. Какое расстояние пройдут тележки после сцепления, если остановились они через 2 с? Считайте движение после столкновения до остановки равноускоренным.

22.63. Пуля массой 15 г, имея скорость 300 м/с, влетает в ящик с песком, стоящий на неподвижной платформе, масса которой 50 кг. Определите скорость движения платформы после попадания шара и время ее движения до полной остановки, если платформа остановилась, преодолев расстояние 1,8 м. Считайте, что во время движения на платформу действует постоянная сила трения.

22.64. Из пушки вылетает снаряд со скоростью 500 м/с. На какое расстояние после выстрела может откатиться пушка, не имеющая противооткатного устройства, если ее коэффициент трения 0,4, а выстрел произведен в горизонтальном направлении? Масса пушки 1 т, масса снаряда 12 кг.

22.65. Конькобежец массой 60 кг, стоя на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой 3 кг и откатывается на 40 см. С какой скоростью конькобежец бросил камень, если коэффициент трения коньков о лед составляет 0,02?

22.66. Платформа с пушкой стояла на прямолинейном участке горизонтального железнодорожного пути. После выстрела пушки в направлении, параллельном путям, платформа откатилась на 56,25 м. Определите общую массу платформы с пушкой, если известно, что

коэффициент трения составляет 0,002, масса снаряда 50 кг, а скорость его вылета 600 м/с.

? **22.67.** Во время вертикального подъема ракеты с поверхности планеты на нее действует неизменная сила тяги реактивных двигателей (каждую секунду расходуется одинаковая масса топлива). Можно ли при этом считать движение ракеты равноускоренным? Ответ обоснуйте.

22.68. Ракету массой 1,2 т запускают с поверхности Земли вертикально вверх с ускорением 19,6 м/с^2. Скорость струи газов, которые выбрасываются из сопла, составляет 1,5 км/с. Определите, сколько горючего расходуется каждую секунду.

23. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. МОЩНОСТЬ. КПД

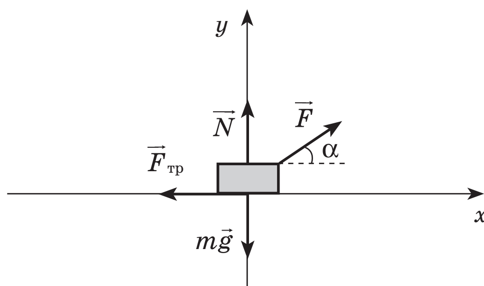
Пример решения задач

Задача. Какую работу выполняет лошадь на пути 50 м, если она тянет телегу массой 200 кг по горизонтальному участку дороги с ускорением 1,65 м/с^2? Учтите, что сила, которая действует на телегу, направлена под углом 45° к горизонту, а коэффициент трения равен 0,01.

Дано:
$s = 50$ м
$m = 200$ кг
$\alpha = 45°$
$\mu = 0{,}01$
$g = 10$ м/с^2
$a = 1{,}65$ м/с^2

A — ?

Решение



По определению $A = Fs\cos\alpha$. Телега движется равноускоренно под действием четырех сил, следовательно, по второму закону Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} + m\vec{g}.$$

Спроектируем векторы на координатные оси:

$$ma = F\cos\alpha - F_{\text{тр}};$$

$$0 = N + F\sin\alpha - mg.$$

Решая полученную систему уравнений относительно F (с учетом того, что по определению силы трения: $F_{\text{тр}} = \mu N$), получим:

$$F = \frac{m(a+\mu g)}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}.$$

Подставив это выражение в формулу для нахождения механической работы, будем иметь: $A = \dfrac{ms(a+\mu g)\cos\alpha}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$.

Проверим единицы и определим числовое значение искомой величины:

$$[A] = \text{кг}\cdot\text{м}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) = \text{Дж};$$

$$\{A\} = \frac{200\cdot 50\cdot(1{,}65 + 0{,}01\cdot 10)\sqrt{2}}{\left(\dfrac{\sqrt{2}}{2} + 0{,}01\cdot\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right)\cdot 2} \approx 1733.$$

Таким образом, $A \approx 1733$ Дж.

Ответ: лошадь выполняет работу $A \approx 1733$ Дж.

1-й уровень сложности

23.1. Мальчик равномерно тянет санки с грузом по горизонтальной дороге за веревку, прикладывая силу 24 Н под углом 45° к горизонту. Какую работу выполнил мальчик, переместив санки на 15 м?

23.2. Мать, прикладывая силу 40 Н, катит коляску с грудным ребенком за ручку, которая образует с горизонтом угол 30°. Какую работу выполнила мать, пройдя по прямолинейному горизонтальному участку 1,5 км? Какую работу выполнила за то же время сила трения, если мать катила коляску равномерно?

23.3. Ящик тянут за веревку по горизонтальной поверхности, прикладывая силу 12 Н в направлении движения. Какая работа выполнена при перемещении ящика на 6 м?

23.4. Какая сила сопротивления возникла при обработке детали на токарном станке, если резец равномерно переместился на 300 мм и при этом была выполнена работа 150 Дж?

23.5. Электровоз массой 2000 т на горизонтальном участке пути движется с ускорением 0,035 м/с^2. Какую работу выполняет сила тяги на пути 40 м, если сила сопротивления движению составляет 85 кН?

23.6. Автомобиль массой 1,2 т движется с ускорением 1,5 м/с^2. Сила сопротивления равна 500 Н. Какой путь преодолел автомобиль, если его двигатели выполнили работу 230 кДж?

23.7. Брусок массой 5 кг переместили по горизонтальной поверхности на 2 м, выполнив работу 20 Дж. Определите силу трения, действующую на брусок, если брусок двигался с ускорением 1,4 м/с^2.

23.8. Парашютист равномерно опускается со скоростью 5 м/с. Сила сопротивления воздуха за 20 с спуска выполняет работу 75 кДж. Определите массу парашютиста.

23.9. Ящик массой 5 кг движется по горизонтальной поверхности со скоростью 2 м/с под действием горизонтальной силы 5 Н. Какую работу выполняет эта сила за 2 мин?

23.10. Спортсмен поднял штангу весом 200 Н на высоту 1,8 м с ускорением 1,4 м/с^2. Определите работу, которую выполнил спортсмен.

23.11. Подъемный кран поднял груз массой 2 т на высоту 10 м, выполнив работу 200 кДж. Определите ускорение, которое было дано грузу. Считайте ускорение свободного падения равным 9,8 м/с^2.

23.12. Шар массой 250 г падает вниз с ускорением 9,4 м/с^2. Какую работу на пути 5 м выполняет: а) сила тяжести; б) сила сопротивления? Ускорение свободного падения $g \approx 9{,}8$ м/с^2.

23.13. Определите ускорение, с которым падало тело массой 4 кг с высоты 30 м, если сила сопротивления выполнила за время падения работу 42 Дж. Ускорение свободного падения $g \approx 9{,}8$ м/с^2.

23.14. Какую мощность имеет двигатель, который за 2 ч выполняет работу 0,9 МДж?

23.15. Сколько времени должен работать двигатель мощностью 1,2 кВт, чтобы выполнить работу 96 кДж?

23.16. Рассчитайте мощность трактора, если он движется равномерно со скоростью 2 м/с, а сила тяги его двигателя 25 кН.

23.17. Автомобиль, имея тяговую мощность 60 кВт и силу тяги двигателя 15 кН, движется равномерно прямолинейно. Определите, с какой скоростью движется автомобиль.

23.18. Сила тяги двигателя тепловоза 100 кН. Определите мощность тепловоза, если он за 1 мин преодолел расстояние 600 м.

23.19. Какое расстояние преодолел за 0,5 мин игрушечный катер, мощность двигателя которого 1,8 Вт, а сила тяги 0,2 Н?

23.20. Подъемный кран с двигателем, мощность которого 5 кВт, равномерно поднимает груз со скоростью 0,2 м/с. Определите массу груза.

23.21. Мальчик тянет санки, прикладывая силу 50 Н, направленную под углом 60° к горизонту. Какую мощность развивает мальчик, если санки движутся равномерно прямолинейно и за минуту переместились на 30 м?

23.22. Лошадь, развивая мощность 600 Вт, тянет телегу с силой 450 Н, направленной под углом 30° к горизонту. За какое время она довезет хозяина из одного села в другое, если расстояние между ними 12 км?

23.23. Выполняя рывок, тяжелоатлет поднял штангу массой 200 кг на высоту 2 м за 1 с. Какую мощность он при этом развил?

23.24. Сколько времени нужно подъемному крану с двигателем мощностью 6 кВт, чтобы поднять груз массой 3 т на высоту 10 м?

23.25. Какую массу воды поднимает насос мощностью 720 Вт на высоту 12 м за 1 ч?

23.26. Дрезина массой 3 т движется с постоянной скоростью 10 м/с. Какую мощность она развивает, если коэффициент сопротивления составляет 0,02?

23.27. Какую скорость имеет автомобиль массой 1,2 т, мощность двигателя которого 50 кВт, когда равномерно движется по горизонтальному шоссе с коэффициентом трения 0,15?

23.28. Груз массой 0,5 т подняли на высоту 1,6 м. При этом подъемник выполнил работу 10 кДж. Определите КПД подъемника.

23.29. С помощью неподвижного блока бочку весом 800 Н равномерно подняли на высоту 5 м. Какую работу выполнил рабочий, если КПД блока 85 %?

23.30. Определите КПД рычага, с помощью которого подняли груз весом 200 Н на высоту 50 см. При этом короткое плечо под действием силы 500 Н опустилось на 25 см.

23.31. Рабочий с помощью рычага, КПД которого равняется 90 %, поднимает гранитную глыбу весом 5 кН на 18 см. Какую силу приложил рабочий к длинному плечу, если оно опустилось на 96 см?

23.32. По наклонной плоскости длиной 5 м и высотой 1,8 м закатили бревно массой 200 кг, прикладывая силу 800 Н. Определите КПД этой наклонной плоскости.

23.33. Какую силу необходимо приложить вдоль наклонной плоскости длиной 4 м с КПД 82 %, чтобы вагонетку массой 160 кг закатить на высоту 0,8 м?

2-й уровень сложности

23.34. Жалюзи массой 1,2 кг и длиной 1,6 м, открывая, скручивают в тонкий валик возле верхней части окна. Какую работу при этом выполняют?

23.35. Сваю длиной 3 м, которая лежала на земле, поставили вертикально, поднимая за один конец. При этом была выполнена работе 4,5 кДж. Определите массу сваи.

23.36. Какая работа выполняется во время равномерного перемещения ящика массой 75 кг по горизонтальной поверхности на расстояние 55 м, если коэффициент трения составляет 0,3, а веревка, с помощью которой тянут ящик, образует с горизонтом угол 30°?

23.37. Рабочий толкает по горизонтальной колее вагонетку массой 150 кг с ускорением 0,8 м/с^2. Определите работу, которую выполняет рабочий, переместив вагонетку на 5 м, если он действует на нее с силой, направленной вниз под углом 60° к горизонту, а коэффициент трения равен 0,02.

23.38. Какую работу выполнила сила тяги автомобиля массой 2 т, если за 4 с скорость его движения возросла с 36 км/ч до 72 км/ч? Коэффициент трения составляет 0,1.

23.39. Определите ускорение реактивного лайнера массой 150 т на взлетной полосе длиной 1500 м, если сила тяги его двигателей на этом пути выполняет работу 375 МДж, а коэффициент трения колес шасси о взлетную полосу 0,02.

23.40. Велосипедист массой 50 кг движется по прямолинейному участку горизонтального шоссе согласно уравнению $x = 4 + 2t + t^2$. Какую работу выполняет велосипедист за 20 с движения?

23.41. Поезд метро массой 180 т тормозит перед станцией метро. Уравнение зависимости скорости его движения от времени при этом имеет вид: $\upsilon_x = 6 - 0{,}2t$. Определите работу, которую выполнила тормозная сила до полной остановки поезда.

23.42. Определите, какую работу выполняют, равномерно поднимая ведро с водой объемом 12 л, на высоту 8 м. Массой ведра пренебрегите. Какую работу при этом выполняет сила тяжести?

23.43. Кран равномерно поднимает бетонную плиту на высоту 15 м. Определите объем плиты, если в процессе подъема выполнена работе 1,4 МДж. Ускорение свободного падения $g \approx 9{,}8$ м/с^2, $\rho_б = 2574$ кг/м^3.

23.44. Какую работу выполнила сила сопротивления, если тело массой 200 г, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 35 м/с, поднялось на высоту 40 м? Считайте, что сила сопротивления воздуха во время движения тела была неизменной.

23.45. Определите работу, которую выполнила сила сопротивления над камнем массой 4 кг, если он падал 4 с и в момент падения имел скорость 24 м/с. Учтите, что начальная скорость движения камня равна 0 м/с.

23.46. Во время урока с парты упал карандаш массой 30 г, который долетел до пола за 0,4 с. Какую работу выполнила ученица, поднимая свой карандаш? Ускорение свободного падения считайте равным 10 м/с^2. Сопротивлением воздуха пренебрегите.

23.47. Действующая модель автомобиля массой 8 кг движется из состояния покоя вверх по наклонной плоскости с углом наклона 60° с постоянным ускорением 0,5 м/с^2. Определите работу силы тяги за первые 2 с, если коэффициент трения равен 0,1.

23.48. Сани массой 7 кг соскальзывают с горки длиной 5 м с углом наклона 45°. Какую работу выполняет сила тяжести?

23.49. Рассчитайте мощность потока воды, падающей с плотины высотой 30 м, если каждую минуту ее расходуется 150 м^3.

23.50. ГЭС имеет мощность водного потока 150 кВт. Сколько кубометров воды падает ежесекундно с ее плотины, если высота плотины 5 м?

23.51. На горизонтальном участке пути длиной 2 км поезд массой 800 т разогнался с 54 км/ч до 72 км/ч. Определите работу и среднюю мощность локомотива на этом участке, если коэффициент трения 0,005.

23.52. На момент взлета учебный самолет АН-52 должен набрать скорость 90 км/ч. Какую мощность развивают его двигатели на взлетной полосе длиной 100 м, если масса самолета 1 т, а коэффициент сопротивления 0,02?

23.53. Поезд, вес которого 600 кН, отходит на 200 м от станции за 40 с. Определите мгновенную мощность, которую развивают двигатели поезда в момент $t = 40$ с, если коэффициент сопротивления движению 0,025.

23.54. Грузовик массой 6 т, двигаясь равноускоренно, на момент, когда скорость его движения составляет 72 км/ч, имеет мощность 150 кВт. С каким ускорением движется грузовик?

23.55. Электровоз, двигаясь с постоянной скоростью 54 км/ч, развивает мощность 600 кВт. Определите силу тяги электровоза, если КПД его двигателей 75 %.

23.56. Определите силу сопротивления резанию строгального станка, если скорость резания 0,75 м/с, мощность двигателя станка 7,5 кВт, а его КПД 70 %.

23.57. Ковш экскаватора поднимает 200 кг песка на высоту 3 м за 5 с. Определите КПД двигателя подъемного устройства, если его мощность 2 кВт.

23.58. Мощность двигателя насоса 28 кВт, а КПД — 45 %. На какую высоту насос может поднять 150 м^3 нефти за 10 мин?

23.59. Для откачивания воды из шахты поставили насос с двигателем мощностью 7 лошадиных сил ($1 \text{ л. с.} \approx 736 \text{ Вт}$). Сколько тонн воды можно откачать из шахты глубиной 20 м за 5 ч непрерывной работы насоса, если его КПД 82 %?

23.60. Человек качает ручным насосом с КПД 30 % воду из колодца. Определите глубину колодца, если человек за 1 час накачал 1,2 м^3 воды. Мощность человека считайте равной 0,1 лошадиной силы.

23.61. Подъемный кран, двигатель которого имеет мощность 15 кВт, поднимает груз со скоростью 0,3 м/с. Груз какой массы поднимает кран, если КПД двигателя 75 %?

23.62. Мощность гидроэлектростанции составляет 75 МВт, а КПД ее турбины — 80 %. Сколько кубометров воды каждую секунду падает с ее плотины? Плотина поднимает уровень воды на 15 м.

23.63. Какую мощность имеет гидроэлектростанция, если на лопасти ее турбины с высоты 12 м каждую минуту падает 220 $м^3$ воды? КПД турбины 85 %.

23.64. Какой КПД имеет наклонная плоскость с углом наклона 15°, если коэффициент трения во время движения по ней равняется 0,2?

23.65. Определите КПД наклонной плоскости длиной 2,6 м и высотой 1 м, если коэффициент трения во время движения по ней составляет 0,15.

23.66. С помощью подвижного блока поднимают груз массой 33 кг на высоту 4 м, прикладывая к свободному концу веревки силу 200 Н. Определите КПД блока, если масса самого блока 1,5 кг. Какая сила трения действует во время подъема груза?

23.67. Какой КПД имеет подвижный блок массой 900 г, если с его помощью подняли груз массой 30 кг?

3-й уровень сложности

23.68. Поднимая мраморную статую со дна озера глубиной 10 м, археологи выполнили работу 34 кДж. Определите массу статуи. Сопротивлением воды можно пренебречь. $\rho_{мрам} = 2700$ кг/$м^3$.

23.69. Со дна реки глубиной 10 м на берег, высота которого 5 м, подняли гранитную глыбу объемом 0,4 $м^3$. Какая работа была выполнена при этом?

23.70. Какую работу выполняет левый желудочек сердца за 1 мин, если систоличное давление равно 16 кПа, а объем крови, выталкиваемой при каждом сокращении желудочка, составляет 70 $см^3$? Частота пульса 68 ударов в минуту.

23.71. В старину жернова мельниц приводили в движение лошади. Определите силу тяги лошади, которая двигалась по кругу радиусом 3 м, совершая 4 оборота в минуту. Мощность лошади считайте равной 500 Вт.

23.72. Двигатель шлифовального станка имеет мощность 300 Вт и вращается с частотой 480 об/мин. Деталь во время обработки прижимают к рабочей поверхности станка с силой 120 Н. Определите диаметр шлифовального диска. Коэффициент трения между деталью и рабочей поверхностью диска 0,4.

23.73. С какой скоростью поезд массой 600 т равномерно поднимается по склону с наклоном 0,005, если сила трения составляет 10 кН, а мощность двигателей тепловоза 800 кВт?

23.74. Тяговая мощность трактора Т-150 72 кВт. С какой постоянной скоростью он сможет тянуть прицеп массой 5 т на подъем с углом наклона 12°, если коэффициент трения составляет 0,4?

23.75. Определите среднюю мощность, которую развивает двигатель мотоцикла на подъеме, составляющем 2 м на 100 м пути, если мотоциклист, трогаясь с места, через 100 м достигает скорости 36 км/ч. Общая масса мотоциклиста и мотоцикла 400 кг. Коэффициент трения составляет 0,08.

23.76. Велосипедист массой 80 кг, въезжая на гору с углом наклона 2°, разгоняется до скорости 7,2 км/ч на участке длиной 50 м. Какую среднюю мощность развивает велосипедист? Коэффициент сопротивления 0,03.

23.77. Из шахты глубиной 200 м равномерно поднимают клеть массой 500 кг на канате, каждый метр которого имеет массу 1,5 кг. Какую работу при этом выполняют? Определите КПД установки. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения $g \approx 9{,}8$ м/с^2.

23.78. Транспортер с КПД 80 %, длина ленты которого 4 м, а угол наклона 22°, поднимает груз массой 400 кг на платформу за 2 с. Какую мощность развивает электродвигатель транспортера?

23.79. На эстакаду высотой 3 м, двигаясь равномерно со скоростью 18 км/ч, за 3 с заехал мотоциклист, масса которого с мотоциклом 90 кг. Определите силу тяги двигателя мотоцикла, если КПД наклонной плоскости 75 %. Какую мощность развил двигатель?

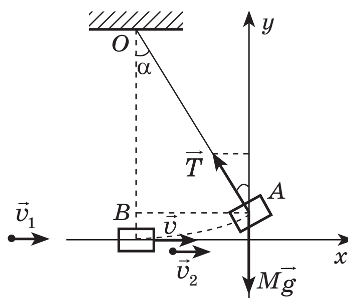
24. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Пример решения задач

Задача. Пуля массой 10 г летела горизонтально со скоростью 800 м/с и пробила тело массой 1,2 кг, которое висит на подвесе длиной 1,5 м (см. рисунок). В результате скорость пули уменьшилась до 700 м/с. Определите силу натяжения подвеса в момент наибольшего отклонения тела от положения равновесия. Сопротивлением воздуха пренебрегите.

Дано:	СИ
$m = 10$ г	$m = 10^{-2}$ кг
$M = 1{,}2$ кг	
$v_1 = 800$ м/с	
$v_2 = 700$ м/с	
$l = 1{,}5$ м	
$g = 10$ м/с^2	
T —?	

Решение



В момент наибольшего отклонения на тело действуют две силы: сила тяжести ($m\vec{g}$) и сила натяжения подвеса ($\vec{T}$), причем $T\cos\alpha = Mg$, откуда $T = \frac{Mg}{\cos\alpha}$. Рассмотрим треугольник AOB, где $\cos\alpha = \frac{OB}{OA} = \frac{l-h}{l}$, тогда $T = \frac{Mgl}{l-h}$.

Высоту подъема тела определим, воспользовавшись законом сохранения энергии, согласно которому $\frac{Mv^2}{2} = Mgh$, откуда $h = \frac{v^2}{2g}$.

По закону сохранения импульса: $m\vec{v}_1 = m\vec{v}_2 + M\vec{v}$, или в проекциях на ось OX: $mv_1 = mv_2 + Mv$, откуда $v = \frac{m(v_1 - v_2)}{M}$, тогда $h = \frac{m^2(v_1 - v_2)^2}{2gM^2}$ и, соответственно, $T = \frac{Mgl}{l - \frac{m^2(v_1 - v_2)^2}{2gM^2}}$.

После необходимых преобразований получаем конечную формулу:

$$T=\frac{2M^3g^2l}{2M^2gl-m^2(v_1-v_2)^2}.$$

Проверим единицы: $[T]=\dfrac{\text{кг}^3\cdot\dfrac{\text{м}^2}{\text{с}^4}\cdot\text{м}}{\text{кг}^2\cdot\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot\text{м}-\text{кг}^2\cdot\left(\dfrac{\text{м}}{\text{с}}-\dfrac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}=\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}=\text{Н}.$

Выполним расчеты:

$$\{T\}=\frac{2\cdot1{,}2^3\cdot10^2\cdot1{,}5}{2\cdot10\cdot1{,}5\cdot1{,}2^2-(10^{-2})^2\cdot(300-700)^2}\approx12{,}3.$$

Таким образом, $T\approx12{,}3$ Н.

Ответ: сила натяжения подвеса в момент наибольшего отклонения тела $T\approx12{,}3$ Н.

1-й уровень сложности

24.1. На подставке стоит ваза массой 1,5 кг. Высота подставки 1,8 м. Определите потенциальную энергию вазы относительно пола и относительно стола, высота которого 1,2 м.

24.2. Определите потенциальную энергию тела массой 12 кг, находящегося на высоте 8 м над поверхностью земли.

24.3. На какой высоте над поверхностью земли мяч массой 350 г имеет потенциальную энергию 14 Дж?

24.4. На высоте 22 м над поверхностью земли потенциальная энергия шарика составляет 4,4 кДж. Определите его массу.

24.5. Мяч массой 300 г бросили с высоты 8 м, после удара о землю он подпрыгнул на высоту 7 м. На сколько изменилась потенциальная энергия мяча? Почему?

24.6. Определите потенциальную энергию сжатой пружины, которая под действием силы 2 кН сократилась на 24 мм.

24.7. Потенциальная энергия упруго деформированного резинового жгута жесткостью 5 кН/м составляет 16 Дж. Определите его абсолютное удлинение.

24.8. Потенциальная энергия пружины, сжатой на 5 см, равняется 64 кДж. Определите коэффициент жесткости этой пружины.

24.9. Какую кинетическую энергию имеет тело массой 2 кг, движущееся со скоростью 3 м/с?

24.10. Определите массу метеора, движущегося со скоростью 40 км/с и имеющего кинетическую энергию 40 ГДж.

24.11. С какой скоростью должен двигаться автомобиль массой 1,5 т, чтобы его кинетическая энергия составляла 180 кДж?

24.12. Какую работу необходимо выполнить, чтобы остановить автомобиль массой 2 т, который движется со скоростью 54 км/ч?

24.13. Чтобы пробить доску толщиной 100 мм, необходимо выполнить работу 800 Дж. Может ли пробить ее пуля массой 16 г, которая подлетает к доске со скоростью 300 м/с?

24.14. Определите массу поезда, если для увеличения его скорости с 36 км/ч до 54 км/ч электровоз выполнил работу 190 МДж.

24.15. Определите полную механическую энергию космического корабля массой 2 т, который движется с первой космической скоростью, равной 7,9 км/с, на высоте 300 км.

? **24.16.** Объясните, почему для запуска спутника большей массы на определенную орбиту необходимо израсходовать больше энергии, чем для запуска спутника меньшей массы.

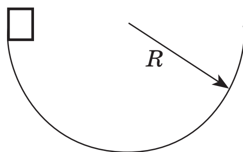
? **24.17.** Парашютист равномерно спускается на парашюте, следовательно, его кинетическая энергия не изменяется, а потенциальная уменьшается. Не нарушается ли закон сохранения энергии? Почему?

24.18. Мальчик на санках съезжает с горки высотой 1 м, приобретая в конце ее скорость 4 м/с. Сохраняется ли при этом движении механическая энергия, если масса мальчика вместе с санками 40 кг? Почему? Какую работу выполняет сила сопротивления? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

24.19. На какую максимальную высоту над поверхностью Земли может подняться подброшенное тело массой 500 г, если в момент броска кинетическая энергия тела равна 200 Дж? Ускорение свободного падения считайте равным 9,8 м/с^2.

24.20. Кузнечик прыгает с места вертикально вверх на высоту 54 см. Какую скорость он имеет в момент отталкивания? Силой сопротивления воздуха пренебрегите.

24.21. С края массивной сферической чаши радиусом 45 см соскальзывает без трения небольшое тело. Положение тела в начальный момент времени показано на рисунке. Определите скорость движения этого тела в нижней точке чаши.



24.22. Капля воды свободно падает с высоты 450 м. Определите ее потенциальную и кинетическую энергии на высоте 200 м, если масса капли 2 г, а сопротивлением воздуха можно пренебречь.

24.23. Камень бросили вверх со скоростью 20 м/с. Определите его потенциальную и кинетическую энергии на высоте 4 м относительно точки броска, если масса камня равна 30 г. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

24.24. Вагон массой 36 т, который движется со скоростью 2 м/с, наталкивается на пружинный амортизатор и останавливается. На сколько сжалась пружина амортизатора, если ее жесткость составляет 225 кН/м?

24.25. Мальчик выпустил камешек массой 20 г из рогатки. Камешек достиг высоты 40 м и упал. Во время «выстрела» резиновый жгут, использованный в рогатке, растянулся на 20 см. Определите коэффициент жесткости жгута. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

24.26. Какую скорость приобрела стрела, выпущенная вверх, массой 50 г, если перед выстрелом лук был деформирован на 10 см? Коэффициент жесткости лука равен 2 кН/м. На какую максимальную высоту поднимется стрела? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

2-й уровень сложности

24.27. Какую кинетическую энергию имеет тело массой 500 г через 2 с от начала свободного падения, если оно не успело достичь поверхности земли?

24.28. Тележка массой 9 кг движется под действием силы 60 Н. Определите кинетическую энергию движения тележки через 3 с от начала ее движения.

24.29. Однородный шар (радиус шара R; плотность вещества, из которого он изготовлен, ρ) лежит на горизонтальной поверхности. Чему равна потенциальная энергия шара?

? **24.30.** В каком случае необходимо меньше энергии: при запуске искусственного спутника Земли вдоль меридиана или вдоль экватора в сторону вращения Земли?

24.31. Определите потенциальную и кинетическую энергии тела массой 100 г, брошенного вертикально вверх со скоростью 15 м/с, через 2 с от начала движения.

24.32. Тело бросили горизонтально со скоростью 10 м/с. Определите скорость тела через 1 с после начала движения, если в этот момент тело еще не достигло земной поверхности.

24.33. С высоты 2 м на горизонтальную стальную поверхность падает мяч массой 200 г и подпрыгивает на высоту 1,5 м. Определите переданный полу импульс, изменение механической энергии и объясните причины этого изменения.

24.34. С какой скоростью следует бросить вниз с высоты 3 м теннисный шарик, чтобы после абсолютно упругого удара о землю он подпрыгнул на высоту 8 м? Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

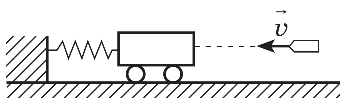
24.35. Мяч бросили вертикально вверх со скоростью 16 м/с. На какой высоте кинетическая энергия мяча будет равна его потенциальной энергии? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

24.36. С какой скоростью следует пустить вертикально вверх стрелу, чтобы на высоте 7,5 м ее кинетическая энергия была вдвое меньше потенциальной?

24.37. С высоты 10 м вертикально вверх бросили мяч со скоростью 5 м/с. Определите скорость, с которой мяч коснется поверхности земли. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

24.38. Тело бросили с высоты 3 м под углом 60° к горизонту с начальной скоростью 13 м/с. Определите скорость, с которой тело коснется поверхности земли, и ее направление. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

24.39. Пуля попадает в ящик с песком, масса которого 9 кг, и застряет в нем (см. рисунок). На сколько сожмется пружина жесткостью 400 Н/м, если масса пули 8 г и движется она со скоростью 100 м/с?

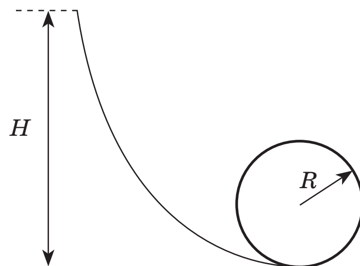


3-й уровень сложности

? **24.40.** После встряхивания неполного ведра с картофелем наибольшие картофелины всегда оказываются сверху. Почему?

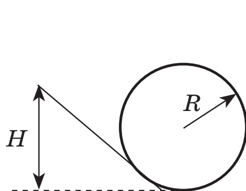
? **24.41.** Движутся два одинаковых тела: одно (тело A) соскальзывает без трения по наклонной плоскости, а второе (тело B) одновременно с первым свободно падает вдоль катета той самой плоскости. Определите: а) будут ли конечные скорости тел одинаковыми; б) отличается ли от нуля их относительная скорость.

24.42. Велосипедист должен проехать по треку, имеющему форму «мертвой петли» радиусом $R = 3$ м (см. рисунок). С какой наименьшей высоты велосипедист должен начать движение, чтобы, не работая педалями, проехать верхнюю точку трека? Трением можно пренебречь.

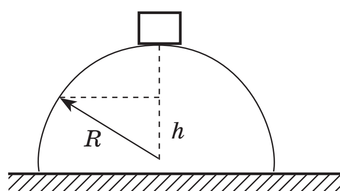


24.43. Небольшое тело соскальзывает по наклонной плоскости, переходящей в «мертвую петлю», как показано на рисунке, с высоты $H = 2R$, где R — радиус петли. На какой высоте тело оторвется от петли? Трением можно пренебречь.

24.44. Тело, выведенное из состояния равновесия, соскальзывает без трения с верхней точки полусферы радиусом R (см. рисунок). На какой высоте тело оторвется от поверхности полусферы?



К задаче 24.43



К задаче 24.44

24.45. Два шарика, массы которых 30 г и 15 г, движутся с одинаковой скоростью 3 м/с навстречу друг другу. С какими скоростями они разлетятся после абсолютно упругого центрального удара?

24.46. Во сколько раз изменилась скорость движения атома Гелия после абсолютно упругого центрального столкновения с неподвижным атомом Гидрогена?

24.47. Два шарика, массы которых 30 г и 15 г, движутся со скоростями 2 м/с и 3 м/с соответственно: а) навстречу друг другу; б) в одну и ту же сторону. С какими скоростями они будут двигаться после их неупругого удара? На сколько изменится кинетическая энергия системы после столкновения шариков?

24.48. Шарик массой m, двигаясь со скоростью v, сталкивается с таким же шариком, только неподвижным. Какая часть механической энергии превратилась во внутреннюю, если удар был неупругим?

24.49. На тонком легком стержне длиной 1 м висит груз. В него попадает летящая горизонтально пуля, вследствие чего стержень отклоняется от вертикали на угол 10°. Масса шара в 1000 раз меньше массы груза. Определите скорость, с которой двигалась пуля. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

24.50. Два грузика, массы которых 100 г и 150 г, подвешены на параллельных нитях длиной по 80 см так, что грузики касаются друг друга. Меньший из них отклонили на 60° и отпустили. На какую высоту поднимутся грузики, если удар был неупругим?

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

25. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Пример решения задач

Задача. Два грузика, подвешенные к пружине, колеблются с периодом 2,5 с. Один из этих грузиков, подвешенный к той самой пружине, колеблется с периодом 1,5 с. Каким будет период колебаний второго грузика на той же самой пружине?

Дано:
$T = 2{,}5$ с
$T_1 = 1{,}5$ с

T_2 — ?

Решение

Согласно формуле периода пружинного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{k}}; \qquad (1)$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}; \qquad (2)$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}}. \qquad (3)$$

Из уравнения (2) выразим $k = \frac{4\pi^2 m_1}{T_1^2}$.

Поделив уравнение (1) на уравнение (2), найдем m_2:

$$m_2 = \frac{m_1\left(T^2 - T_1^2\right)}{T_1^2}.$$

После подстановки полученных выражений для k и m_2 в формулу для определения периода колебаний второго грузика будем иметь:

$$T_2 = \sqrt{T^2 - T_1^2}.$$

Проверим единицы: $\left[T_2\right] = \sqrt{\text{с}^2 - \text{с}^2} = \text{с}$.

Выполним расчеты: $\left\{T_2\right\} = \sqrt{2{,}5^2 - 1{,}5^2} = 2$.

Таким образом, $T_2 = 2$ с.

Ответ: период колебаний второго грузика $T_2 = 2$ с.

1-й уровень сложности

25.1. Один шарик находится на дне полусферы, другой — на вершине такой самой полусферы. Какой из них будет совершать свободные колебания после вывода из состояния равновесия?

25.2. Какие из приведенных ниже предметов являются свободно колеблющимися: а) игла швейной машинки; б) струна гитары; в) поршень двигателя внутреннего сгорания; г) стрелка компаса; д) ветвь куста после порыва ветра?

25.3. Лодка, которая качается на морских волнах, за 25 с совершила 10 полных колебаний. Определите период и частоту колебаний лодки.

25.4. За 60 с тело совершает 120 полных колебаний. Определите период, частоту и циклическую частоту колебаний этого тела.

25.5. Вычислите значение частоты и периода колебаний тела, если циклическая частота его колебаний равна 50π с$^{-1}$.

25.6. Период колебаний маленького шарика на длинной нерастяжимой нити равен 4 с. Определите, сколько полных колебаний шарик совершит за 6 с.

25.7. Уравнение гармонических колебаний имеет вид: $x = 0{,}05\sin\left(0{,}01\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$, где все величины заданы в системе СИ. Определите амплитуду, начальную фазу, циклическую частоту и период этих колебаний.

25.8. Охарактеризуйте колебание, которое задано уравнением $x = 2\cos 4\pi t$, если t измеряется в секундах, а x — в сантиметрах. Постройте график этих колебаний.

25.9. Запишите уравнение гармонических колебаний, которые совершаются по закону косинуса, если период колебаний составляет 0,25 с, амплитуда — 6 см, а начальная фаза колебаний — $0{,}5\pi$ рад.

25.10. Какой вид имеет уравнение гармонических колебаний для тела, начальная фаза колебаний которого равна нулю, циклическая частота составляет 10π $с^{-1}$, а максимальное отклонение от положения равновесия — 12 см? Примите во внимание, что колебания совершаются по закону синуса. Постройте график этих колебаний.

25.11. Определите амплитуду гармонических колебаний, которые совершаются по закону косинуса, если для фазы $\frac{\pi}{3}$ смещение от положения равновесия составляет 4 см.

25.12. Для какой фазы гармонических колебаний, совершаемых по закону синуса с амплитудой 0,3 м, смещение составляет 10 см?

? **25.13.** Как изменится период колебаний пружинного маятника, если уменьшить: а) массу подвешенного к пружине груза; б) коэффициент жесткости пружины; в) амплитуду колебаний?

25.14. Тело массой 200 г колеблется на пружине жесткостью 2000 Н/м. Определите период колебаний тела.

25.15. С какой частотой колеблется грузик массой 500 г на пружине с коэффициентом жесткости 1,8 кН/м?

? **25.16.** Как изменится период колебаний математического маятника, если увеличить: а) длину подвеса; б) амплитуду колебаний?

25.17. Длина математического маятника 5 м. Определите период его колебаний. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ $м/с^2$.

25.18. Длина маятника Фуко в Исаакиевском соборе в Санкт-Петербурге равна 98 м. За какое время он совершает одно полное колебание? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ $м/с^2$.

25.19. Подвешенный к пружине жесткостью 600 Н/м шар колеблется с амплитудой 5 см. Определите полную энергию его колебаний.

25.20. Грузик массой 400 г колеблется с амплитудой 4 см на пружине, проходя положение равновесия со скоростью 4 м/с. Определите полную механическую энергию колебаний и жесткость пружины.

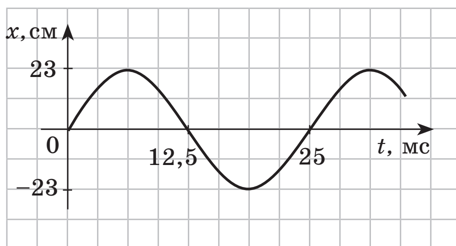
25.21. Скорость движения тела, совершающего гармонические колебания, в момент прохождения положения равновесия равна 0,2 м/с. Определите массу этого тела, если полная энергия его колебаний составляет 10 МДж.

? **25.22.** Какие преобразования энергии происходят во время колебаний математического маятника в вакууме (рассмотрите его движение за один период)?

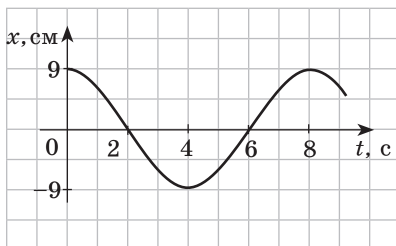
2-й уровень сложности

25.23. На рисунке представлен график гармонических колебаний. Охарактеризуйте эти колебания и запишите уравнение колебаний.

25.24. По графику, представленному на рисунке, охарактеризуйте колебания, которые совершает тело, и запишите уравнение зависимости координаты тела от времени.



К задаче 25.23



К задаче 25.24

25.25. Гармонические колебания материальной точки описываются уравнением $x = 0{,}07\cos\left(\frac{\pi t}{4} + \frac{\pi}{3}\right)$. Определите период колебаний, смещение материальной точки через 2 с от начала колебаний. Постройте график этих колебаний.

25.26. Запишите уравнение и постройте график гармонических колебаний тела, которые совершаются по закону синуса, с амплитудой 45 см, если за 2 мин совершилось 40 колебаний. Начальная фаза колебаний равна $\frac{\pi}{6}$ рад.

25.27. Период гармонических колебаний материальной точки, совершаемых по закону синуса, равна 2,4 с, амплитуда — 5 см, начальная фаза колебаний — нулю. Запишите уравнение и постройте график этих колебаний, а также определите смещение материальной точки через 0,3 с после начала колебаний.

25.28. Тело массой 20 г совершает гармонические колебания по закону косинуса с периодом 12 с и начальной фазой $0{,}5\pi$. Запишите уравнение и постройте график этих колебаний, а также определите смещение точки через 1 с после начала колебаний, если амплитуда колебаний равна 25 см.

25.29. Два тела совершают колебания с одной частотой. Постройте на одной координатной плоскости приблизительные графики зависимости координат этих тел от времени в следующих случаях: а) колебания тел происходят синфазно; б) сдвиг фаз составляет $\frac{\pi}{2}$ рад; в) колебания противофазные.

25.30. Определите массу груза, совершающего 200 полных колебаний за 2 мин 40 с на пружине с коэффициентом жесткости 250 Н/м.

25.31. Какой коэффициент жесткости имеет пружина, на которой шарик массой 150 г совершает 250 колебаний за 2,5 мин?

25.32. В течение какого времени груз массой 3,6 кг совершит 20 колебаний на пружине, коэффициент жесткости которой составляет 10 Н/м?

? **25.33.** Пружинный маятник состоит из стального шарика и пружины. Как изменится период колебаний этого маятника, если к пружине вместо стального шарика подвесить алюминиевый шарик того же диаметра?

25.34. К пружине подвесили грузик, вследствие чего она растянулась на 16 см. Определите период свободных колебаний грузика, если его оттянули вниз на 8 см и отпустили. Запишите уравнение этих колебаний.

25.35. С какой частотой будет совершать колебания грузик на пружине, которая в вертикальном положении под действием этого грузика растягивается на 2 см?

25.36. Грузик, подвешенный к пружине, колеблется с частотой 2 Гц. На сколько растянется пружина, если грузик будет висеть на той же пружине?

25.37. На пружине жесткостью 2 Н/м подвешен груз массой 500 г. На какое расстояние необходимо отвести груз от положения равновесия, чтобы в дальнейших колебаниях скорость его движения в момент прохождения положения равновесия имела значение 1 м/с?

? **25.38.** Как изменится ход маятниковых часов, если в летнюю жару вынести их из неглубокого подвала на улицу? Свой ответ обоснуйте.

? **25.39.** Как изменится ход маятниковых часов, если их переместить с Земли на Луну? Ответ обоснуйте.

? **25.40.** Маятниковые настенные часы начали отставать. Как следует изменить положение грузика на стержне, который служит маятником? Ответ обоснуйте.

? **25.41.** На длинной нити колеблется маленький свинцовый шарик. Как изменится период колебаний, если свинцовый шарик заменить стеклянным? Почему?

? **25.42.** Как изменится частота колебаний маленького стального шарика, если под ним разместить постоянный магнит? Почему?

25.43. Математический маятник длиной 2,5 м осуществил 100 колебаний за 314 с. Определите период колебаний маятника и ускорение свободного падения в этом месте.

25.44. Определите длину математического маятника, который совершает 60 колебаний за 2 мин. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

25.45. Выполняя лабораторную работу, ученик получил следующие результаты: маятник длиной 95 см совершил 100 колебаний за 196 с. Какое значение ускорения свободного падения получил ученик?

25.46. Какие длины должны иметь секундные маятники на полюсе ($g = 9{,}83$ м/с^2) и на экваторе ($g = 9{,}78$ м/с^2)?

25.47. Определите период колебаний математического маятника на Марсе, если на Земле период колебаний этого маятника составлял 2 с. Ускорение свободного падения на Марсе в 2,6 раза меньше, чем на Земле.

25.48. Запишите уравнение колебаний математического маятника длиной 1,6 м, амплитуда колебаний которого составляет 11 см.

25.49. Колебания математического маятника в единицах системы СИ заданы уравнением $x = 0{,}13\cos\pi t$. Определите длину этого маятника.

25.50. За одинаковое время один математический маятник совершает 80 колебаний, а другой — 120. Определите, во сколько раз один из них длиннее другого.

25.51. Определите соотношение частот колебаний двух математических маятников, если один из них в 4 раза короче другого.

25.52. Определите длины двух математических маятников, если известно, что один из них на 30 см длиннее, а за одинаковое время они совершили соответственно 32 и 28 колебаний.

25.53. Грузик, подвешенный к пружине с коэффициентом жесткости 75 Н/м, совершает колебания с амплитудой 6 см. Скорость грузика в момент прохождения положения равновесия равна 0,5 м/с. Определите массу грузика.

25.54. Грузик массой 400 г, который колеблется с амплитудой 10 см на пружине, проходит положение равновесия со скоростью 4 м/с. Определите полную механическую энергию колебаний, их частоту и жесткость пружины.

? 25.55. Может ли маленький мальчик раскачать на подвесных качелях свою маму? Как?

? 25.56. Если вы несете груз, подвешенный на веревке к палке на вашем плече, то при определенном темпе ходьбы груз начинает раскачиваться. Почему это происходит? Можно ли преодолеть нежелательное раскачивание?

25.57. Период собственных вертикальных колебаний вагона равен 1,25 с. На стыках рельсов вагон получает периодические толчки, которые вызывают его вынужденные колебания. С какой минимальной скоростью движется поезд, если пассажиры ощущают сильное вертикальное раскачивание вагона? Длина рельсов между стыками 25 м.

25.58. В старину воду носили от колодца в ведрах, подвешенных к коромыслу. Время одного собственного колебания ведра составляет 1,5 с. Когда скорость человека, несшего ведра, равнялась 0,4 м/с, вода начинала выплескиваться из ведер. Определите длину шага человека.

3-й уровень сложности

25.59. Шарик массой 200 г, подвешенный к невесомой пружине с коэффициентом жесткости 20 Н/м, совершает гармонические колебания. Определите смещение шарика от положения равновесия в тот момент, когда его ускорение составляет 3 м/с^2.

25.60. Уравнение гармонических колебаний тела массой 5 кг имеет вид $x = 0{,}5\cos(0{,}8t + 0{,}3\pi)$, где все величины заданы в единицах системы СИ. Определите максимальную силу, действующую на тело во время колебаний.

25.61. Тело совершает гармонические колебания по закону синуса с циклической частотой $\omega = 5$ с$^{-1}$. Определите, в какой момент времени смещение тела от положения равновесия будет равно 40 см, а скорость его движения — 100 см/с. Считайте начальную фазу колебаний равной нулю.

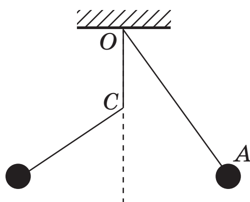
25.62. На двух одинаковых пружинах в вертикальной плоскости колеблются грузики: один — с периодом 3 с, а другой — с периодом 4 с. С каким периодом будут колебаться два грузика, если их подвесить к одной из этих пружин?

25.63. На двух одинаковых пружинах в вертикальной плоскости колеблются грузики: один — с периодом 3 с, а другой — с периодом 4 с. С каким периодом будут колебаться два грузика, если их подвесить к тем же пружинам, соединенным последовательно?

25.64. На двух одинаковых пружинах в вертикальной плоскости колеблются грузики: один — с периодом 3 с, а другой — с периодом 4 с. С каким периодом будут колебаться два грузика, если их подвесить к тем же пружинам, соединенным параллельно?

25.65. Груз, подвешенный к пружине, вывели из состояния равновесия и отпустили. Определите, через какой минимальный промежуток времени после начала колебаний кинетическая и потенциальная энергии груза будут одинаковыми.

25.66. Определите период колебаний математического маятника OA длиной $l = 90$ см, если в точке C на расстоянии $\frac{l}{2}$ от точки подвеса, вбит гвоздь (см. рисунок).



25.67. Шарик подвесили к нити длиной l, отвели от положения равновесия и отпустили. Как изменится период колебаний такого маятника, если в точке C $\left(OC = \frac{l}{4}\right)$ вбить гвоздь (см. рисунок к задаче 25.66).

25.68. Материальная точка колеблется, как показано на рисунке к задаче 25.66. Определите длину маятника OA, если за 6 с совершается четыре колебания, а расстояние от точки подвеса до вбитого в стену гвоздя $OC = 0{,}75\,OA$. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

? **25.69.** Как изменится частота колебаний отрицательно заряженного шарика, который колеблется на изолированном подвесе над горизонтальной поверхностью, если поверхности дать: а) положительный заряд; б) отрицательный заряд? Свой ответ обоснуйте.

? **25.70.** Маленький медный шарик, совершающий гармонические колебания на длинном подвесе, начинает свободно падать вместе с подвесом. Будет ли колебаться он во время падения? Ответ обоснуйте.

25.71. Как изменится ход маятниковых часов, если переместить их с экватора на полюс? На экваторе часы показывали точное время. Ускорение свободного падения на экваторе: $g_э = 9{,}78$ м/с^2, на полюсе: $g_п = 9{,}83$ м/с^2.

25.72. В лифте, который двигался равноускоренно, период колебаний математического маятника равнялся 1,2 с, а после остановки — 1,3 с. С каким ускорением двигался лифт? В каком направлении? Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

25.73. Определите период колебания математического маятника длиной $l = 2$ м, который висит в вагоне поезда, движущегося с ускорением $a = 3$ м/с^2.

25.74. Маятниковые часы с маятником, длина которого 1 м, спешат на полчаса в сутки. На сколько надо увеличить или уменьшить длину маятника, чтобы часы шли точно?

25.75. Насколько надо увеличить или уменьшить длину математического маятника на высоте 20 км над поверхностью Земли, чтобы периоды колебаний на поверхности Земли и на высоте 20 км были одинаковыми? Начальная длина маятника составляет 1 м.

? **25.76.** Изменится ли период колебаний мальчика на качелях, если он сперва качался на них сидя, а потом — стоя? Почему?

25.77. Девочка массой 40 кг качается на качелях с амплитудой 80 см, совершая 8 колебаний за 32 с. Определите полную механическую энергии колебаний, а также кинетическую и потенциальную энергии девочки через $\frac{1}{3}$ периода после начала колебаний.

25.78. Математический маятник длиной 1 м колеблется с амплитудой 8 см. Определите полную механическую энергию колебаний и скорость материальной точки массой 100 г в момент прохождения положения равновесия.

25.79. Маленький шарик, который колеблется на 2-метровом подвесе, проходит положение равновесия со скоростью 0,5 м/с. Определите амплитуду его колебаний.

26. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Пример решения задач

Задача. Определите частоту звуковых колебаний в стали, если расстояние между двумя ближайшими точками звуковой волны, в которых колебания отличаются по фазе на π, равно 3 м. Скорость звука в стали считайте равной 5000 м/с.

Дано:	*Решение*
$\Delta\varphi = \pi$ $v = 5000\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ $l = 3\ \text{м}$ ν — ?	Скорость распространения звуковой волны $v = \lambda\nu$, откуда $\nu = \frac{v}{\lambda}$. Сдвиг фаз между двумя точками упругой среды, которые находятся на расстоянии l, равен: $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}$, следовательно, $\nu = \frac{v\Delta\varphi}{2\pi l}$.

Учитывая, что согласно условию $\Delta\varphi = \pi$, получим конечную формулу: $\nu = \frac{v}{2l}$.

Проверим единицы: $[\nu] = \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}} = \text{Гц}$.

Выполним расчеты: $\{\nu\} = \frac{5000}{2 \cdot 3} \approx 833$.

Таким образом, $\nu = 833\ \text{Гц}$.

Ответ: частота звуковых колебаний $\nu = 833\ \text{Гц}$.

1-й уровень сложности

26.1. Какие волны (продольные или поперечные) возбуждает смычок виолончелиста в струне и в воздухе?

26.2. Возникают ли поперечные волны: а) в струнах во время игры на щипковых инструментах; б) в земной коре во время землетрясения; в) в воздухе, когда человек разговаривает?

26.3. Лодка качается на морских волнах с периодом колебаний 2 с. Определите длину морской волны, если она движется со скоростью 3 м/с.

26.4. Определите частоту колебаний звуковой волны длиной 1,25 м в стали, если известно, что скорость распространения звука в стали равна 5 км/с.

26.5. Определите скорость распространения волн в воде, если источник волн колеблется с периодом 5 мс, а длина волны равна 7 м.

26.6. Определите наименьшее расстояние между двумя точками, которые колеблются с одинаковыми фазами, если волна распространяется со скоростью 650 м/с, а частота колебаний составляет 185 Гц.

26.7. Волна от катера, который движется по озеру, дошла до берега за одну минуту. Расстояние между соседними гребнями волны равняется 1,5 м, а промежуток времени между последовательными ударами волны о берег составляет 2 с. Определите расстояние от катера до берега.

26.8. За какой промежуток времени звуковая волна преодолеет расстояние 29 км, если длина волны равна 7,25 м, а частота колебаний составляет 200 Гц?

26.9. Звуковая волна переходит из одной среды в другую. Какая из величин, характеризующих звуковую волну, не меняется?

26.10. В какой среде звук распространяться не может?

26.11. Какую принципиальную физическую ошибку допускают авторы фильмов о «звездных войнах», озвучивая «звездные» бои?

26.12. Считается, что наиболее низкий тон мужского голоса имеет частоту 80 Гц, а наивысший тон женского голоса — 1300 Гц. Какие длины звуковых волн в воздухе соответствуют этим тонам? Скорость распространения звука в воздухе считайте равной 340 м/с.*

26.13. Считается, что наименьшая частота звука, который может слышать человек, составляет 16 Гц. Какую длину имеет такая звуковая волна в воздухе?

? **26.14.** Почему полет насекомых в большинстве случаев сопровождается звуком?

* Если в условиях задач не указано иное, считайте, что скорость распространения звука в воздухе равна 340 м/с.

? 26.15. Кто чаще взмахивает крыльями: пчела или шмель? Ответ обоснуйте.

? 26.16. Можно ли по звуку дрели определить: работает она вхолостую или высверливает отверстие? Ответ обоснуйте.

26.17. Определите скорость звука в стекле, если звуковая волна с частотой 1200 Гц имеет длину 4,25 м.

26.18. Источник звука создает волну с частотой 15 кГц. Скорость ее распространения в резине равна 60 м/с. Чему равна длина этой звуковой волны во время ее распространения в резине?

26.19. Чтобы определить скорость распространения звука в воде, на озере разместили на расстоянии 14 км две лодки. На одной из них установили устройство, которое одновременно создавало звуковой сигнал в воде и световой в воздухе. На другой лодке был наблюдатель, который измерял время прихода звукового сигнала; считалось, что световой сигнал достигает наблюдателя мгновенно. Выяснилось, что звуковой сигнал поступил через 10 с после светового. Какое значение скорости звука в воде получили экспериментаторы?

26.20. Первый грохот грома дошел к наблюдателю через 6 с после того, как он увидел молнию. На каком расстоянии возникла молния? Считайте, что молнию наблюдатель увидел мгновенно.

? 26.21. Каким свойством звука объясняется возникновение эха?

? 26.22. Молния длится долю секунды, а грохот грома бывает слышно относительно долго. Почему?

26.23. Эхо от выстрела дошло до стрелка через 3 с после выстрела. На каком расстоянии от стрелка расположена преграда, от которой отразился звук?

26.24. Стальную деталь проверяют с помощью ультразвукового дефектоскопа. На какой глубине найден дефект и какова высота детали, если после излучения ультразвука было зафиксировано два отраженных сигнала — через 100 мкс и 200 мкс? Скорость распространения звука в стали считайте равной 5200 м/с.

2-й уровень сложности

? **26.25.** Мальчик уронил мяч в бассейн. Сможет ли он пригнать мяч назад к бортику, если будет создавать волны, ударяя палкой по воде? Свой ответ обоснуйте.

? **26.26.** Дерево лучше проводит звук, чем воздух, однако, закрывая дверь, мы значительно меньше слышим шум в соседнем помещении. Почему?

26.27. Человек, стоя на берегу моря, определил, что расстояние между двумя соседними гребнями волн равняется 8 м и что за 1 мин мимо него прошло 45 гребней. Определите скорость распространения волн.

26.28. Во время штиля с катера в озеро бросили якорь, от которого пошли волны. Рыбак на берегу заметил, что волна дошла до него через 50 с, а расстояние между гребнями волн равняется 50 см. Он также заметил, что за 5 с состоялось 20 всплесков волн об берег. На каком расстоянии от рыбака был катер?

26.29. Поперечная волна распространяется вдоль резинового шнура со скоростью 3 м/с, а частота колебаний шнура составляет 2 Гц. В каких по отношению друг к другу фазах колеблются точки резинового шнура, если расстояние между этими точками 75 см? Чему равен сдвиг фаз между ними?

26.30. Волна с периодом колебаний 4 с распространяется со скоростью 3,2 м/с. Чему равен сдвиг фаз между двумя точками волны, лежащими на одном луче, если расстояния между ними и источником составляют 40 см и 60 см соответственно?

26.31. Звуковая волна распространяется вдоль стержня. Разность фаз колебаний между двумя точками, размещенными на расстояния 1,5 м и 2 м от источника звука, составляет $\frac{\pi}{6}$ рад. С какой скоростью распространяется волна в стержне, если частота колебаний равна 500 Гц?

26.32. Поезд, приближаясь к станции, подал сигнал, который там услышали через 3 с, а через 3,4 мин поезд прибыл на станцию. Считая движение поезда равномерным, определите, с какой скоростью он двигался.

26.33. Спортсмен услышал, что пуля попала в мишень, через 1,5 с после того, как произвел выстрел. На каком расстоянии размещена мишень, если пуля летела со скоростью 400 м/с?

26.34. Человек вскрикнул, находясь в центре котловины диаметром 30 м. Услышит ли он эхо от своего вскрика, если известно, что звуковое ощущение у человека сохраняется в течение 0,1 с?

26.35. Для поиска рыбы используют ультразвуковые эхолокаторы. На какой глубине плывет косяк рыбы, если промежуток времени между приемом сигналов, которые отражаются от косяка и дна моря, составляет 1,5 с, а глубина моря в этом месте равна 1,2 км? Скорость звука в воде 1500 м/с.

? 26.36. Если человек приложит ухо к длинному металлическому стержню, а по другому концу стержня кто-то ударит молотком, то человек услышит двойной удар. Почему?

? 26.37. Партизаны, которые вели «рельсовую войну» во время Великой Отечественной войны, часто, чтобы обнаружить поезд, которого они еще не слышали и не видели, прикладывали ухо к рельсу. Как это им помогало?

26.38. На расстоянии 413 м от наблюдателя ударили по медному рельсу. Наблюдатель, приложив ухо к рельсу, услышал звук на 1,1 с раньше, чем звук дошел к нему по воздуху. Определите скорость распространения звука в меди, если в воздухе при данных условиях она равняется 340 м/с.

26.39. На каком расстоянии от источника звука находится наблюдатель, если звуковой сигнал по воде дошел к нему на 1,7 с раньше, чем по воздуху? Скорость звука в воде — 1500 м/с.

? 26.40. Почему тон звука не изменяется, когда он переходит из воздуха в другую среду, хотя скорость распространения звука может измениться в несколько раз?

26.41. Длина звуковой волны в воде составляет 3 м. Какой будет длина этой волны в воздухе? Скорость звука в воде равна 1500 м/с. Докажите, что человек услышит этот звук.

3-й уровень сложности

26.42. Механическая волна распространяется в упругой среде. Смещение точки, отдаленной от источника колебаний на расстояние $\frac{\lambda}{6}$, в момент времени $t = \frac{T}{2}$ составляет 4 см. Определите амплитуду колебаний среды.

26.43. Поперечная волна распространяется вдоль резинового шнура со скоростью 15 м/с. Период колебаний точек шнура 1,2 с, амплитуда колебаний 2 см. Определите длину волны, фазу и смещение точки, отдаленной от источника колебаний на 45 м, через 4 с после начала колебаний.

26.44. Почему ультразвук может переносить значительно большую энергию, чем акустические звуковые волны?

26.45. В обычной жилой комнате эхо вообще не наблюдается. Можно ли утверждать, что в таком помещении звук не отражается от стен, потолка, пола? Свой ответ обоснуйте.

26.46. Сигнальный заряд, пущенный из мортиры вертикально вверх, вспыхнул в высшей точке своего полета. Через 0,36 с после вспышки наблюдатели на земле услышали звук разрыва заряда. На какую высоту поднялся сигнальный заряд? Какой была начальная скорость движения заряда? Сопротивлением воздуха пренебрегите.

26.47. Звук от выстрела, произведенного вертикально вверх, и пуля одновременно достигают высоты 170 м. С какой скоростью пуля вылетела из винтовки? Сопротивлением воздуха пренебрегите.

26.48. На какой глубине в колодце находится вода, если звук от уроненного в колодец камня слышен через 1 с после начала падения камня? Сопротивлением воздуха пренебрегите.

26.49. Пароход, двигаясь по озеру, дал гудок, частота которого 385 Гц. На берегу звук гудка воспринимается как звук 390 Гц. Как вы считаете: пароход приближается или отдаляется от берега? С какой скоростью?

26.50. Самолет отрывается от взлетной полосы, имея скорость 360 км/ч. При этом образуется звук с частотой 255 Гц. Звук какой частоты услышит человек, который находится на аэродроме?

27. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА

Пример решения задач

Задача. Определите кинетическую и полную энергию релятивистского протона, модуль импульса которого $5{,}68\cdot10^{-19}\ \frac{кг\cdot м}{с}$. Масса протона $m_0=1{,}67\cdot10^{-27}$ кг. Скорость света в вакууме $3\cdot10^8$ м/с.

Дано:

$p=5{,}68\cdot10^{-19}\ \frac{кг\cdot м}{с}$

$m_0=1{,}67\cdot10^{-27}$ кг

$c=3\cdot10^8$ м/с

$E_к$ — ?

E — ?

Решение

По определению импульс $p=mv$. Согласно условию частица является релятивистской, следовательно, ее импульс равняется $p=\frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$.

Решим это уравнение относительно v^2:

$$v^2=\frac{p^2c^2}{p^2+m_0^2c^2}.$$

Полную энергию определяем согласно формуле: $E=\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$.

После подстановки выражения скорости и алгебраических преобразований получим: $E=c\sqrt{p^2+m_0^2c^2}$.

Проверим единицы: $[E]=\frac{м}{с}\sqrt{\frac{кг^2\cdot м^2}{с^2}+\frac{кг^2\cdot м^2}{с^2}}=\frac{кг\cdot м^2}{с^2}=Дж$.

Выполним расчеты:

$$\{E\}=3\cdot10^8\cdot\sqrt{5{,}68^2\cdot\left(10^{-19}\right)^2+1{,}67^2\cdot\left(10^{-27}\right)^2\cdot3^2\cdot\left(10^8\right)^2}\approx2\cdot10^{-10}.$$

Таким образом, $E\approx2\cdot10^{-10}$ Дж.

Кинетическую энергию протона можно найти как разность между его полной энергией и энергией покоя:

$$E_к=E-E_0=m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}-1\right).$$

После подстановки выражения скорости и алгебраических преобразований получим:

$$E_к = c\sqrt{p^2 + m_0^2c^2} - m_0c^2 .$$

Проверим единицы:

$$\left[E_к\right] = \frac{м}{с}\sqrt{\frac{кг^2 \cdot м^2}{с^2} + \frac{кг^2 \cdot м^2}{с^2}} - \frac{кг \cdot м^2}{с^2} = \frac{кг \cdot м^2}{с^2} = Дж .$$

Выполним расчеты:

$$\left\{E_к\right\} = 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{5{,}68^2 \cdot \left(10^{-19}\right)^2 + 1{,}67^2 \cdot \left(10^{-27}\right)^2 \cdot 3^2 \cdot \left(10^8\right)^2} -$$

$$-1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 3^2 \cdot \left(10^8\right)^2 \approx 5 \cdot 10^{-11} .$$

Таким образом, $E_к \approx 5 \cdot 10^{-11}$ Дж.

Ответ: полная энергия протона $E \approx 2 \cdot 10^{-10}$ Дж, а его кинетическая энергия $E_к \approx 5 \cdot 10^{-11}$ Дж.

1-й уровень сложности

? **27.1.** В каких из указанных ниже случаев можно применить законы классической физики, а в каких — только законы релятивистской физики:
а) расчет нагрузки на фундамент дома;
б) расчет траектории полета снаряда;
в) описание движения электронов в атоме;
г) описание движения элементарных частиц в ускорителе?

? **27.2.** Автомобиль удаляется от неподвижного наблюдателя со скоростью 120 км/ч. Наблюдатель пускает световой луч в направлении автомобиля. Какую скорость имеет световой луч относительно автомобиля?

? **27.3.** Ракета летит навстречу световому фронту от далекого источника света. С какой по модулю скоростью ракета приближается к световому фронту? Почему?

? **27.4.** Во время вращения Солнца вокруг своей оси один его край всегда движется к Земле, а другой — от Земли. С одинаковой ли скоростью приходит к Земле свет от обоих краев Солнца? Почему?

? **27.5.** Какие факторы определяют энергию покоя тела?

27.6. Определите энергию покоя стального шара массой 2 кг. Изменится ли ответ, если шар того же размера будет деревянным? Скорость распространения света в вакууме $3\cdot10^8$ м/с.

27.7. Какую массу имеет тело, энергия покоя которого составляет $40{,}5\cdot10^{16}$ Дж?

2-й уровень сложности

? **27.8.** Тело движется относительно инерциальной системы отсчета с постоянной скоростью. Для какого наблюдателя не будут проявляться релятивистские эффекты?

27.9. Протон и нейтрон движутся навстречу друг другу со скоростями $2{,}1\cdot10^5$ км/с и $1{,}5\cdot10^5$ км/с соответственно. Определите скорость движения протона относительно нейтрона по классической и релятивистской формулам сложения скоростей. Какой вывод можно сделать?

27.10. Космическая станция отдаляется от планеты со скоростью $1{,}2\cdot10^8$ м/с. Со станции в направлении ее движения стартует ракета и движется со скоростью $1{,}2\cdot10^8$ м/с относительно станции. Определите скорость движения ракеты относительно планеты.

27.11. Какой размер будет иметь 20-метровая ракета относительно инерциальной системы отсчета в направлении движения, если скорость движения ракеты относительно этой системы составляет $2{,}4\cdot10^8$ м/с?

27.12. Метровая линейка находится в космическом корабле, который движется со скоростью $2{,}7\cdot10^8$ м/с относительно инерциальной системы отсчета. Во сколько раз относительно этой системы отсчета изменится: а) линейный размер линейки в направлении движения ракеты; б) поперечный размер линейки?

27.13. Ракета движется со скоростью $2{,}2\cdot10^5$ км/с относительно неподвижного наблюдателя. Текущий контроль систем ракеты космонавты выполнили за 5 ч. Определите, сколько времени длился контроль по часам наблюдателя.

27.14. На космическом корабле, который движется со скоростью $1,8 \cdot 10^8$ м/с относительно инерциальной системы отсчета, прошел год. Во сколько раз дольше он будет длиться в инерциальной системе отсчета?

27.15. Тело имеет массу 2 кг и движется со скоростью $1,8 \cdot 10^8$ м/с относительно инерциальной системы отсчета. Определите энергию этого тела для наблюдателя, неподвижного в инерциальной системе.

27.16. Какое значение имела бы полная энергия ракеты, масса которой 15 т, в системе отсчета, связанной с Землей, если бы ракета двигалась относительно Земли со скоростью $2,7 \cdot 10^8$ м/с?

27.17. Определите кинетическую энергию протона, если тот движется со скоростью, равной 0,8 скорости света в вакууме.

27.18. С какой скоростью должен двигаться нейтрон, чтобы его кинетическая энергия равнялась энергии покоя нейтрона? Масса нейтрона $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

3-й уровень сложности

? **27.19.** Что является относительным при взаимодействии тел — их импульсы или закон сохранения импульса? Ответ обоснуйте.

? **27.20.** Может ли полная энергия тела быть разной в разных инерциальных системах отсчета? Ответ обоснуйте.

? **27.21.** Докажите, что выполнение закона сохранения энергии безусловно требует выполнения закона сохранения массы (и наоборот).

27.22. Солнце каждую минуту излучает в космическое пространство приблизительно $6,6 \cdot 10^{21}$ кВт·ч энергии ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6$ Дж). На сколько за минуту уменьшается масса Солнца за счет излучения? За какое время масса Солнца уменьшится в 1,5 раза? Прокомментируйте полученный ответ.

27.23. Протон, двигаясь со скоростью 0,8 с, влетает в электрическое поле. Какую разность потенциалов он сможет преодолеть?

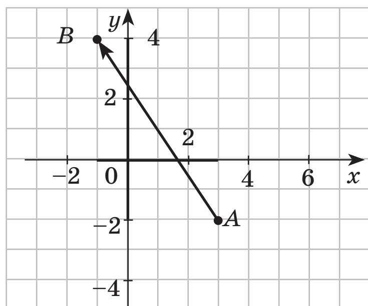
27.24. Какой должна быть кинетическая энергия тела массой m, чтобы его продольный размер уменьшился: а) в 5 раз; б) в n раз?

27.25. В космических лучах встречаются протоны, энергия которых достигает 10^{10} эВ. Диаметр Галактики приблизительно равен 10^5 световых лет. Сколько времени понадобится протону, чтобы пройти сквозь Галактику, с точки зрения наблюдателя, неподвижного: а) в системе отсчета «Галактика»; б) в системе отсчета «протон»? Световой год — это расстояние, которое проходит свет за 1 год.

27.26. Сможет ли свободный нейтрон преодолеть расстояние от Солнца до Земли, двигаясь со скоростью 0,6 с, если время его жизни в системе отсчета, связанной с этим нейтроном, равняется приблизительно 12 мин?

ОТВЕТЫ

1. Введение



К задаче 1.1

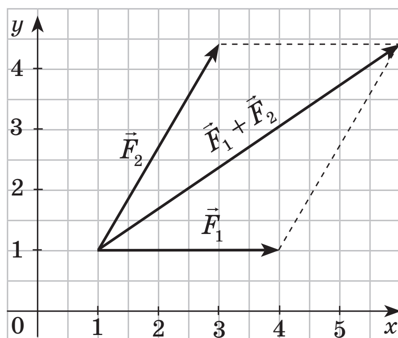
1.1. См. рисунок; $(-4; 6)$. **1.2.** $F_x = 7$; $F_y = 30\,000$; $s_x = 35$; $s_y = -0{,}06$. **1.3.** 0. **1.4.** Модулю вектора со знаком «плюс», если вектор направлен так же, как и ось; модулю вектора со знаком «минус», если вектор направлен против направления координатной оси. **1.6.** а) Да; б) Да; в) нет. **1.7.** N, A, F, ρ. **1.8.** У первой. **1.9.** $\Delta x_{\text{вип}} = 0{,}018$ м; $\Delta x = 0{,}02$ м; $x = (1{,}50 \pm 0{,}02)$ м; $\varepsilon_x = 1{,}3\,\%$. **1.10.** $m = (149{,}2 \pm 0{,}2)$ г; $\varepsilon_m = 0{,}14\,\%$. **1.11.** Нет. **1.12.** $\vec{v} = (-3; 0)$; $\vec{E} = (4; -3)$; $\vec{s} = (0; 5)$; $\vec{F} = (2; 2\sqrt{3})$; $\vec{B} = (-3\sqrt{2}; 3\sqrt{2})$. **1.13.** См. рисунок; $\approx 6{,}1$; $\approx 3{,}6$. **1.14.** Изменить соответствующим образом направление вектора. **1.15.** См. табл. 1. **1.16.** См. табл. 2. **1.17.** См. рисунок. **1.18.** См. рисунок. **1.19.** $16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. **1.20.** 382 470 км. **1.22.** См. рисунок; 6,4; 8. **1.23.** $\approx 10°$. **1.24.** а) 2,8 с; б) 1 с. **1.25.** Увеличится приблизительно в 1,4 раза. **1.26.** $R = (50 \pm 10)$ Ом. Относительная погрешность $\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \approx 0{,}21$; $\varepsilon_R = 21\,\%$. Абсолютная погрешность $\Delta R = \varepsilon_R \cdot R = 0{,}21 \cdot 50 \approx 10$ Ом. **1.27.** $V = (0{,}014 \pm 0{,}001)$ м^3; $\varepsilon_V \approx 10\,\%$. **1.28.** В пределах погрешностей измерений закон Архимеда у каждого ученика выполняется. Точность эксперимента недостаточна, чтобы говорить о линейной зависимости выталкивающей силы от объема погруженного в воду тела.

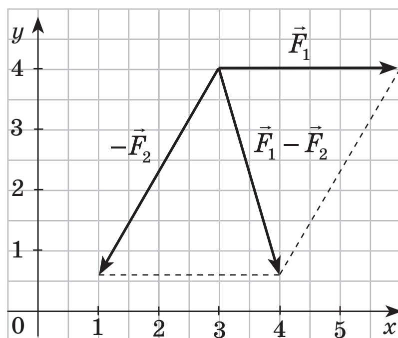
Таблица 1

α, град	0	30	45	60	90	120	180
F_x, Н	1	$\sqrt{3}$	$2\sqrt{2}$	3	0	−5	−12
F_y, Н	0	1	$2\sqrt{2}$	$3\sqrt{3}$	8	$5\sqrt{3}$	0

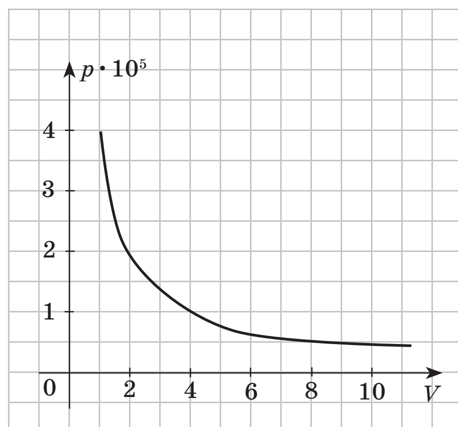
Таблица 2

$\lvert\vec{v}\rvert$	$\sqrt{13}$	5	$\sqrt{41}$	$5\sqrt{2}$	$\sqrt{41}$	5	$4\sqrt{5}$	$5\sqrt{10}$
α, град (до OX)	≈ 56	≈ 53	≈ 51	45	≈ 39	≈ 37	≈ 27	≈ 18

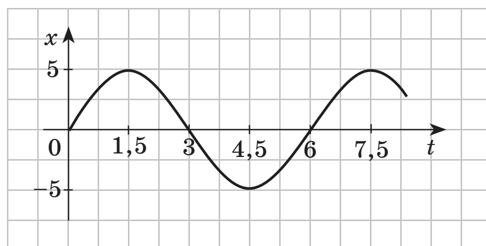




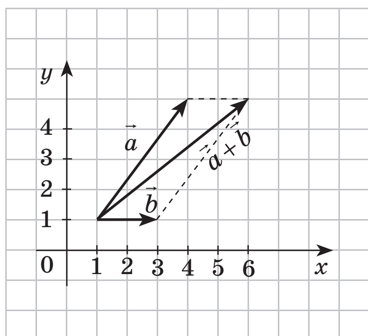
К задаче 1.13

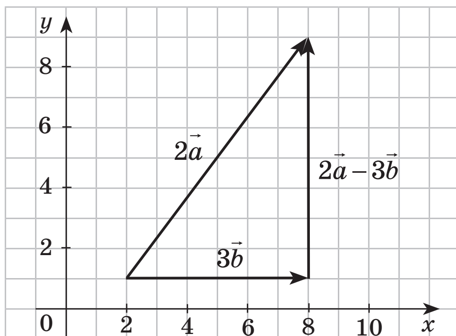


К задаче 1.17



К задаче 1.18





К задаче 1.22

КИНЕМАТИКА

2. Движение и покой

2.1. Да, может, поскольку состояние тела (покоя или движения) зависит от выбора системы отсчета. **2.2.** Относительно друг друга и корпуса автомобиля приятели находятся в состоянии покоя, а относительно дороги, деревьев на обочине, колес автомобиля — движутся. **2.3.** Относительно поезда книга находится в состоянии покоя, а относительно земли движется со скоростью 100 км/ч. **2.4.** а) Относительно земли воздушный шар движется; б) относительно воздуха — нет. **2.5.** а) Относительно воды корабль движется; б) относительно эскадры — нет. **2.6.** а) В системе отсчета «земля» грузовик движется со скоростью движения комбайна; б) в системе отсчета «комбайн» грузовик находится в состоянии покоя. **2.7.** а) В системе отсчета «земля» автоплатформа движется со скоростью движения автобуса 120 км/ч; б) в системе отсчета «автобус» она находится в состоянии покоя, скорость равняется 0 км/ч. **2.8.** Да.

3. Относительность траектории

3.1. а) Прямолинейно; б) криволинейно; в) криволинейно; г) прямолинейно. **3.2.** Относительно земли локомотив и вагоны движутся прямолинейно, а точки колес, подвижных частей двигателя — криволинейно. **3.3.** Если перемещение тела равняется нулю, то траектория его движения является замкнутой линией. **3.4.** Если пройденный путь и модуль перемещения тела одинаковы, то траекторией его движения является прямая линия. **3.5.** а) Относительно земли траекторией движения груза является наклонная к поверхности земли прямая; б) относительно крановщика — вертикальная

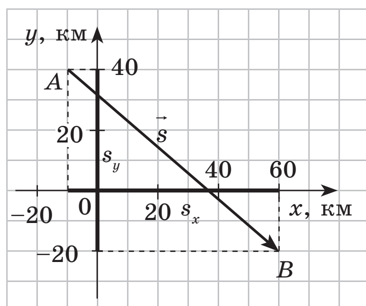
прямая. **3.6.** а) Относительно летчика траектория будет представлять собой окружность; б) относительно взлетной полосы — винтовую линию. **3.7.** Винтовая линия вокруг траектории Земли во время ее движения вокруг Солнца. **3.8.** а) Относительно диска — это прямая линия; б) относительно Земли — спираль.

4. Материальная точка, поступательное движение

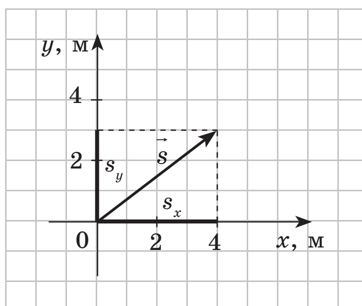
4.1. а) Да; б) нет; в) да. **4.2.** Луну по отношению к ракете можно считать материальной точкой, когда ракета стартует с поверхности Земли. **4.3.** а) Да; б) да; в) нет. **4.4.** Нет. **4.5.** Да. **4.6.** Да.

5. Путь и перемещение

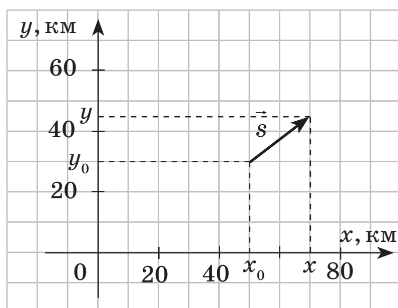
5.1. Измерить длину траектории. **5.2.** Пройденный путь. **5.3.** а) Нет; б) нет. **5.4.** Пройденные телами пути будут одинаковыми только в случае, если они двигались, не меняя направления движения. **5.5.** а) Относительно платформы метро перемещения и пройденные пути одинаковы; б) относительно эскалатора — тоже. **5.6.** а) Да; б) да. **5.7.** а) Да; б) да. **5.8.** Перемещение лодки будет равно нулю, пройденный путь составит 80 км. **5.9.** Пройденный путь составляет 1300 м, модуль перемещения — 100 м. **5.10.** Пройденный путь составляет 32 м, перемещение равно нулю. **5.11.** Пройденный путь — 17 м, модуль перемещения равен 5 м. **5.12.** 100 м. **5.13.** 78,5 м. **5.14.** а) ≈ 44 м; 0 м; б) ≈ 22 м; 14 м; в) ≈ 66 м; 14 м; г) ≈ 11 м; ≈ 10 м. **5.15.** $\approx 5{,}6$ м. **5.16.** Пройденный путь — 70 м, модуль перемещения — 50 м. **5.17.** $s \approx 114$ м; $s_x = 90$ м; $s_y = 70$ м. **5.18.** См. рисунок; $s \approx 92$ км; $s_x = 70$ км; $s_y = -60$ км. **5.19.** См. рисунок; 5 м. **5.20.** См. рис. *а* и *б*. **5.21.** См. рисунок; 1 км; $\approx 53°$ к горизонту. **5.22.** См. рисунок; 35 км; 25 км; 53° к меридиану. **5.23.** См. рисунок; $l = 22$ см; $|\vec{s}| \approx 16$ см. **5.24.** См. рисунок; $|\vec{s}| \approx 0{,}71$ м; $s_x = 0{,}5$ м; $s_y = -0{,}5$ м.



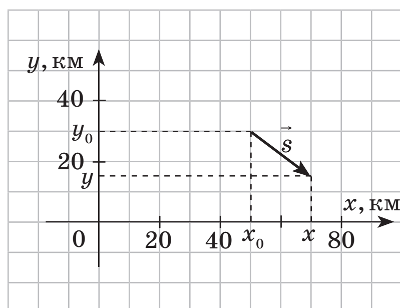
К задаче 5.18



К задаче 5.19

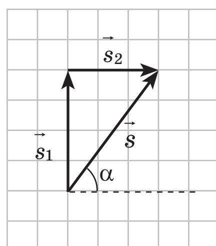


а

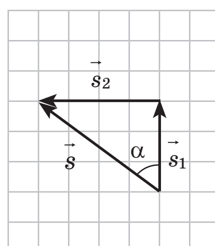


б

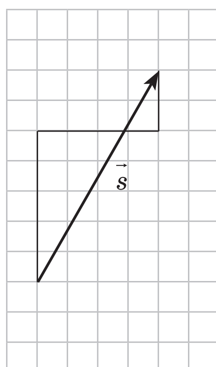
К задаче 5.20



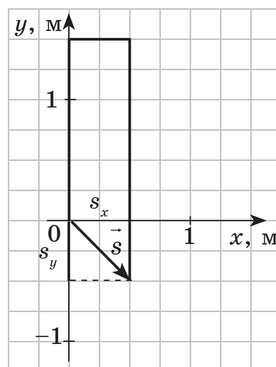
К задаче 5.21



К задаче 5.22



К задаче 5.23

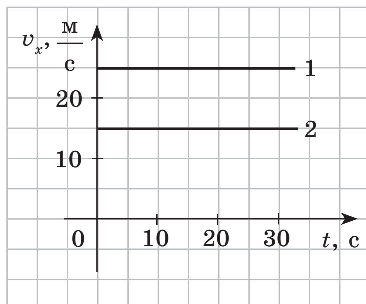


К задаче 5.24

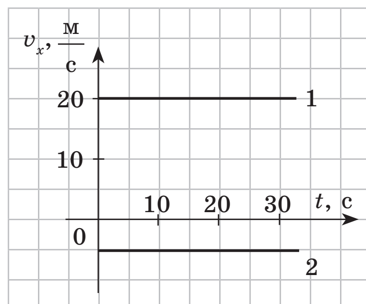
6. Равномерное прямолинейное движение

6.1. Нет, однозначного ответа дать нельзя. **6.2.** На участке, где затрачено меньшее время, скорость больше. **6.3.** На участке, где скорость больше, время движения меньше. **6.4.** Длина участка, на преодоление которого затрачено большее время, больше. **6.5.** См. рисунок. **6.6.** См. рисунок. **6.7.** Общим является то, что оба автобуса начинают движение из одной точки и движутся с одинаковыми скоростями в одном направлении. Разница в том, что первый выехал раньше. **6.8.** Туристы движутся с одинаковой по модулю скоростью, но навстречу друг другу. **6.9.** Первое тело; $v_{\mathrm{I}x}=10$ м/с; $v_{\mathrm{II}x}=5$ м/с. **6.10.** Первое тело; $v_{\mathrm{I}x}=-7{,}5$ м/с; $v_{\mathrm{II}x}=-2{,}5$ м/с. **6.11.** См. рисунок; $x_0=15$ м; $v_x=-3$ м/с; тело движется равномерно прямолинейно против координатной оси, поскольку $v_x<0$. **6.12.** См. рисунок; $x_0=-500$ м; $v_x=20$ м/с; автомобиль движется равномерно прямолинейно в направлении координатной оси, поскольку $v_x>0$. **6.13.** См. рисунок; $x_0=250$ км; $v_x=100$ км/ч; поезд движется равномерно прямолинейно в направлении координатной оси, поскольку $v_x>0$. **6.14.** Не всегда: во время равномерного движения по окружности направление движения изменяется. **6.15.** Телезрители услышат певца раньше на $\Delta t\approx145$ мс. **6.16.** 1500 км. **6.17.** а) $x_1=25t$; б) $x_2=-200+25t$. **6.18.** а) $x=-20t$; б) $x=2000-20t$. **6.19.** Движение лыжника задано линейным уравнением, следовательно, он двигался равномерно прямолинейно из точки с координатой $x_0=-10$ м со скоростью $v_x=5$ м/с в направлении координатной оси (см. рисунок), поскольку $v_x>0$. а) $x=10$ м; б) $x=-20$ м; в) $t=6$ с. **6.20.** См. рисунок. а) 1000 м, 50 с; б) 500 м, 850 м; в) 40 с, 60 с. **6.21.** а) 736 м от места «старта» собаки; 64 с; б) 115 м; 790 м; в) 48 с. **6.22.** Мотоциклист и велосипедист встретятся на расстоянии 144 км от пункта А через 2 ч после начала движения. **6.23.** Через 2,4 ч от начала движения экспресса; 237,6 км. **6.24.** См. рисунок; 4 км; 3 мин 20 с. **6.25.** См. рисунки. **6.26.** См. рисунки. **6.27.** См. рисунки. **6.28.** См. рисунки. **6.29.** $l=30$ км; $s_x=-10$ км. **6.30.** $l=18$ м; $s_x=-9$ м. **6.31.** а) Трамвай движется равномерно прямолинейно против координатной оси, поскольку (согласно графику) его координата линейно уменьшается; б) $x_0=100$ м; в) $x=40$ м; г) $l=80$ м; д) $v_x=-10$ м/с; е) $x=100-10t$. **6.32.** а) Автобус движется равномерно прямолинейно в направлении координатной оси, поскольку (согласно графику) его координата линейно возрастает; б) $x_0=50$ км; в) $t=1$ ч; г) $x=200$ км; д) $v_x=50$ км/ч; е) $s_x=100$ км; ж) $x=(50+50t)$ км. **6.33.** а) $v_{Ix}=25$ м/с; $v_{IIx}=10$ м/с; б) 45 м; в) 4 с; г) $x_I=25t$; $x_{II}=10t$. **6.34.** а) $x_{\text{встр}}=60$ м; $t_{\text{встр}}=4$ мин; б) $s=50$ м; в) $x_I=50$ м; $x_{II}=75$ м; г) $x_I=100-0{,}17t$;

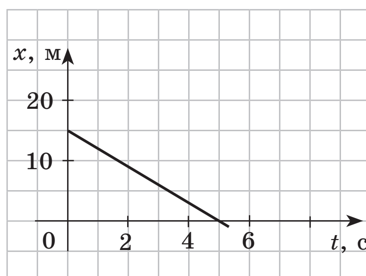
$x_{II} = 0{,}25t$. **6.35.** 0,5 м/с. **6.36.** 450 л/с. **6.37.** 5 км/ч. **6.38.** 100 км/ч. **6.39.** 50 мин. **6.40.** Нет, однозначно утверждать этого нельзя, поскольку, несмотря на очевидное отсутствие движения по оси OX, тело может двигаться по оси OY. **6.41.** $y = 13 - 2x$. **6.42.** См. рисунок; $y = 8 - 0{,}4x$. **6.43.** $t_{встр} = 5$ с; $x_{встр} = 50$ м. **6.44.** 475 м; 15 с.



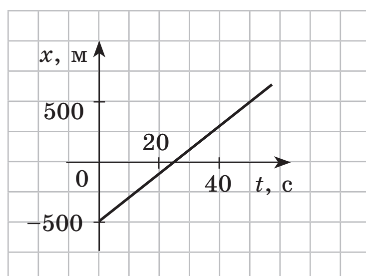
К задаче 6.5



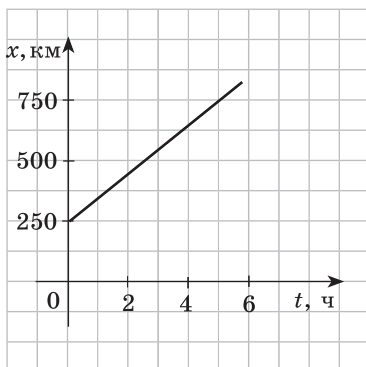
К задаче 6.6



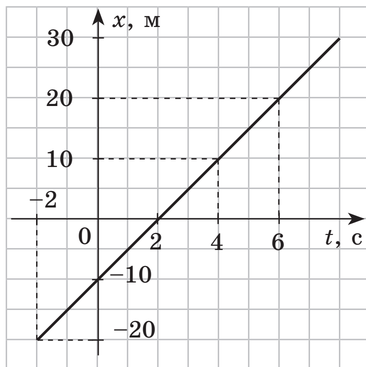
К задаче 6.11



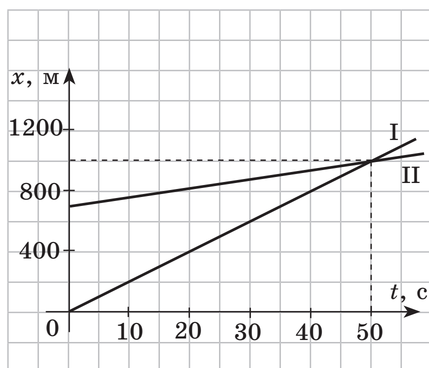
К задаче 6.12



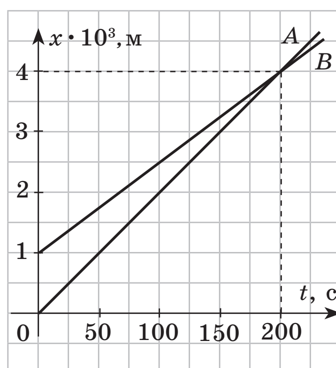
К задаче 6.13



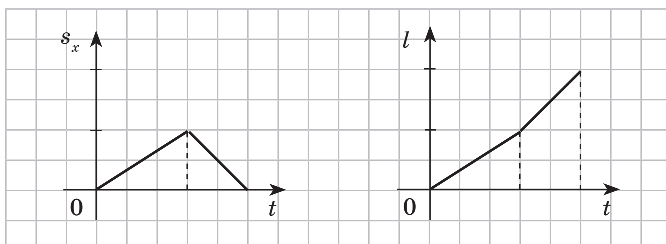
К задаче 6.19



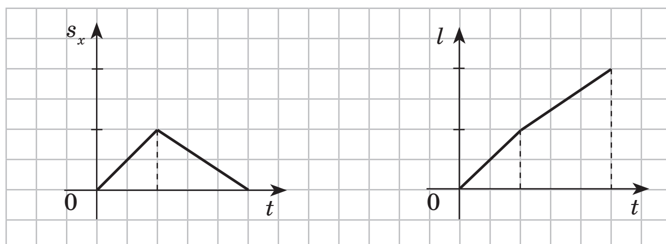
К задаче 6.20



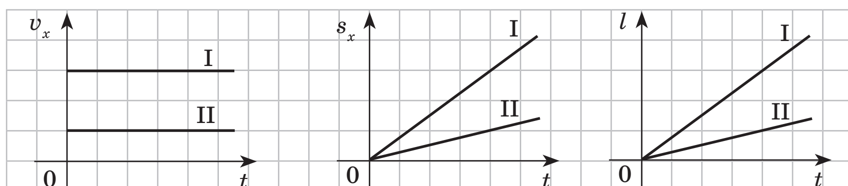
К задаче 6.24



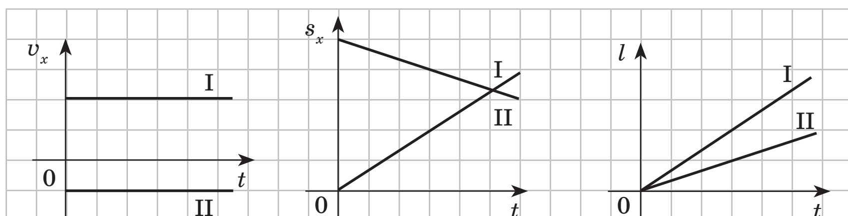
К задаче 6.25



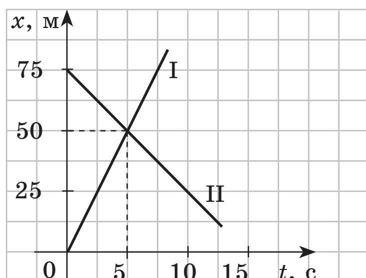
К задаче 6.26



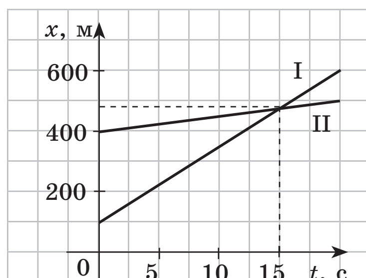
К задаче 6.27



К задаче 6.28



К задаче 6.43



К задаче 6.44

7. Относительность движения

7.1. Нет. **7.2.** Человек. **7.3.** На юг. **7.4.** В том же направлении, что и автобус, с той же самой скоростью. **7.5.** 4 м/с; 1,2 км. **7.6.** 7 м/с; 7 с. **7.7.** $v = 2,5$ м/с; 100 м; 125 м. **7.8.** 3,9 м. **7.9.** $v_т = 7,5$ км/ч; $v_к = 17,5$ км/ч. **7.10.** 48 ч. **7.11.** 3 ч, если обратное движение — против течения; 1 ч, если обратное движение — по течению. **7.12.** 50 с. **7.13.** 75 с. **7.14.** 56,25 с. **7.15.** 1 мин 20 с. **7.16.** 20 с. **7.17.** 54 км/ч. **7.18.** В системе отсчета «земля» автомобиль начал движение на юг со скоростью по модулю большей, чем скорость ветра. **7.19.** 15 мин, поскольку в системе отсчета «вода» плот и вода неподвижны друг относительно друга, поэтому относительно воды время движения лодки против течения и по течению в этой системе отсчета будет одинаковым. **7.20.** а) 1,6 м/с; 0 м; 32 м; б) 2,4 м/с во время движения по течению; 0,8 м/с во время движения против течения; 16 м; 32 м. **7.21.** а) 1,5 м/с; 0 м; 24 м; б) $\approx 2,1$ м/с; 24 м; $\approx 33,6$ м. **7.22.** 80 м. **7.23.** $s = 250$ м; $l = 1$ км.

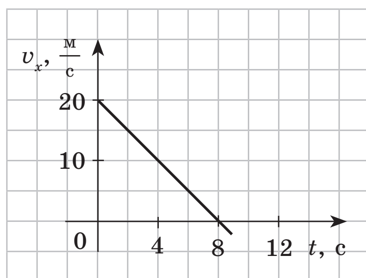
8. Средняя скорость неравномерного движения

8.1. Да, во время прямолинейного движения, если направление движения не менялось. **8.2.** 4,8 м/с. **8.3.** $\approx 4,3$ м/с. **8.4.** 50 км/ч; 0 км/ч; 37,5 км/ч; $v_{ср} = 35$ км/ч. **8.5.** 2 м/с. **8.6.** 500 км/ч. **8.7.** 72 км/ч. **8.8.** 14,4 км/ч. **8.9.** $\approx 1,3$ м/с. **8.10.** ≈ 27 км/ч. **8.11.** 13,5 км/ч. **8.12.** ≈ 115 км/ч. **8.13.** 4,3 км/ч. **8.14.** 60 км/ч. **8.15.** 16,25 км/ч. **8.16.** В первом случае средняя путевая скорость в 1,04 раза больше.

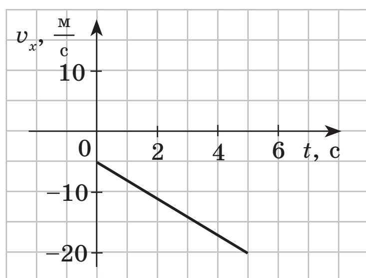
9. Равноускоренное движение

9.1. 20 с. **9.2.** 10 с. **9.3.** 10 м/с. **9.4.** 112,5 м. **9.5.** 20 м. **9.6.** 1,25 м/с^2; 10 м. **9.7.** 5 м/с^2; 910 м. **9.8.** Тело движется в направлении координатной оси OX $\left(v_{0x}>0\right)$ равноускоренно ($v_{0x}>0$; $a_x>0$) с начальной скоростью $v_{0x}=2$ м/с и ускорением $a_x=1{,}5$ м/с^2. **9.9.** Тело движется в направлении координатной оси OX $\left(v_{0x}>0\right)$ равноускоренно ($v_{0x}>0$; $a_x<0$, скорость движения уменьшается) с начальной скоростью $v_{0x}=50$ м/с и ускорением $a_x=-4$ м/с^2. **9.10.** Тело движется в направлении координатной оси OX $\left(v_{0x}>0\right)$ равноускоренно ($v_{0x}>0$; $a_x>0$) из начала координат ($x_0=0$ м) с начальной скоростью $v_{0x}=4$ м/с и ускорением $a_x=3$ м/с^2; $v_x=4+3t$. **9.11.** Тело движется равноускоренно ($v_{0x}<0$; $a_x>0$; скорость движения уменьшается) из точки с координатой $x_0=8$ м против направления координатной оси OX с начальной скоростью $v_{0x}=-5$ м/с и ускорением $a_x=10$ м/с^2; $v_x=-5+10t$. **9.12.** I, II — движется равноускоренно в направлении оси OX; III — движется равноускоренно (скорость движения тела уменьшается) в направлении оси OX и останавливается через 5 с. **9.13.** Тело движется в направлении координатной оси $\left(v_x>0\right)$ равноускоренно (v_x линейно возрастает) из состояния покоя; $v_{0x}=0$ м/с; $a_x=0{,}5$ м/с^2; $v_x=0{,}5t$. **9.14.** Тело движется в направлении координатной оси $\left(v_x>0\right)$ равноускоренно (v_x линейно уменьшается); $v_{0x}=120$ м/с; $a_x=-4$ м/с^2; $v_x=120-4t$. **9.15.** 302,5 м/с^2. **9.16.** 297 км/ч. **9.17.** 0,5 м/с^2. **9.18.** 100 мкс; 7,5 см. **9.19.** 12 с; 12 м/с. **9.20.** 0,2 м/с^2; 19 м/с. **9.21.** 7,1 м/с. **9.22.** Скорость движения шарика посередине горки в 1,4 раза больше средней скорости его движения. **9.23.** В 2 раза. **9.24.** См. рисунок; автомобиль движется равноускоренно ($a_x<0$; $v_{0x}>0$; скорость движения уменьшается) в направлении координатной оси; $v_{0x}=20$ м/с; $a_x=-2{,}5$ м/с^2. **9.25.** См. рисунок; велосипедист движется равноускоренно ($a_x<0$; $v_{0x}<0$) против координатной оси; $v_{0x}=-5$ м/с; $a_x=-3$ м/с^2. **9.26.** Тела движутся в направлении координатной оси ($v_{0x}>0$), первое — равноускоренно, а второе — тормозит с постоянным ускорением, т. е. тоже равноускоренно. **9.27.** См. рисунок; 1 м/с^2; $v_x=10+t$. **9.28.** См. рисунок; −1,25 м/с^2; $v_x=30-1{,}25t$. **9.29.** OA — тело двигалось равномерно прямолинейно в направлении координатной оси; AB — двигалось ускоренно в направлении координатной оси; BC — двигалось равноускоренно в направлении координатной оси; CD — двигалось ускоренно в направлении координатной оси; DE — двигалось равномерно прямолинейно в направлении координатной оси. **9.30.** OA — тело находилось в состоянии покоя; AB — двигалось равноускоренно

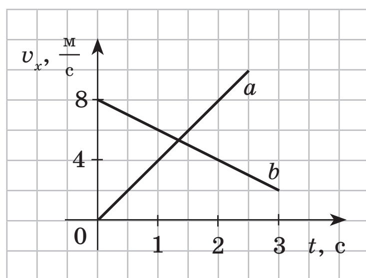
в направлении координатной оси; *BC* — двигалось равномерно прямолинейно; *CD* — двигалось равноускоренно (скорость движения тела уменьшалась) в направлении координатной оси; *DE* — тело находилось в состоянии покоя. **9.31.** Тело движется в направлении координатной оси $(v_{0x} > 0)$ равноускоренно (v_x линейно возрастает); $v_{0x} = 4$ м/с; $a_x = 1$ м/с²; $v_x = 4 + t$; $s_x = 32{,}5$ м. **9.32.** Характер движения одинаков; $s_x = 7$ м. **9.33.** См. рисунок. Тело движется прямолинейно равноускоренно из точки с координатой $x_0 = 5$ м в направлении оси *OX* со $v_{0x} = 1$ м/с и $a_x = 2$ м/с²; $v_x = 1 + 2t$. **9.34.** См. рисунок. Тело движется равноускоренно из точки с координатой 100 м против направления оси *OX* со $v_{0x} = -15$ м/с и $a_x = 4$ м/с². Через 3,75 с оно останавливается и приходит в движение равноускоренно прямолинейно в обратном направлении, т. е. в направлении оси *OX*. **9.35.** а) 52 м; 4 с; б) 30 м. **9.36.** 96 м; 8 с. Расстояние между телами через 4 с после начала движения составит 24 м. **9.37.** 21 м. **9.38.** 4 м/с²; 32 м. **9.39.** 2 м/с². **9.40.** 6,5 м. **9.41.** 8 м/с²; 24 м/с. **9.42.** 0,4 м/с²; 1 м/с. **9.43.** 1 м/с. **9.44.** 10 с; 65 м. **9.45.** 25,2 с; 887,5 м. Примечание: вначале выясните, через какой промежуток времени остановится второй поезд. **9.46.** 40 с. **9.47.** См. рисунки. **9.48.** См. рисунки. **9.49.** $x = -2 + 4t - t^2$; $v_x = 4 - 2t$; $a_x = -2$. **9.50.** $x = 8 - 16t + 4t^2$; $v_x = -16 + 8t$; $a_x = 8$.



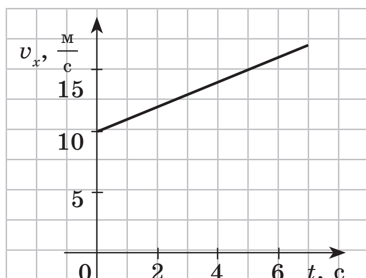
К задаче 9.24



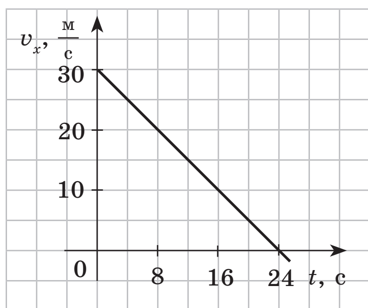
К задаче 9.25



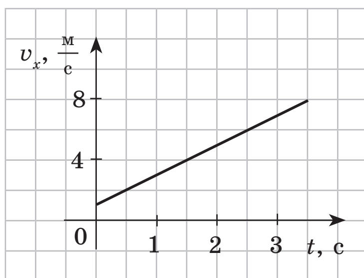
К задаче 9.26



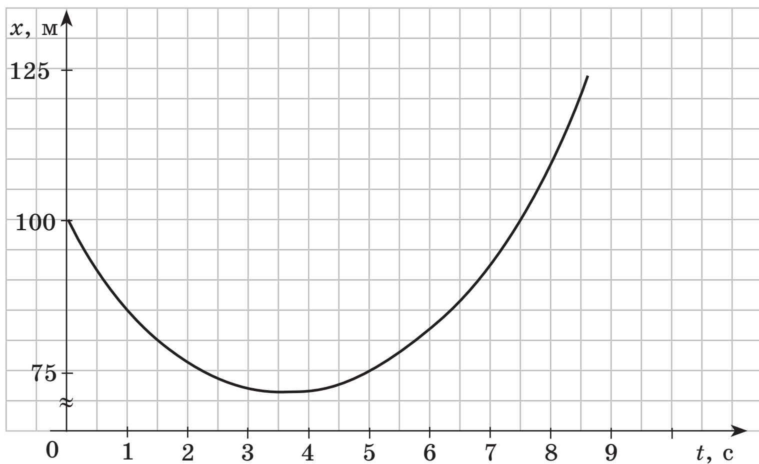
К задаче 9.27



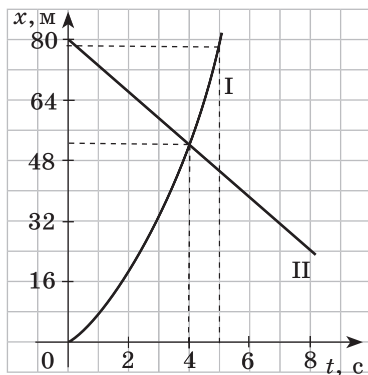
К задаче 9.28



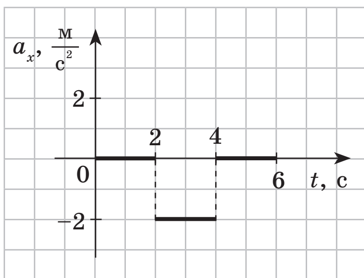
К задаче 9.33



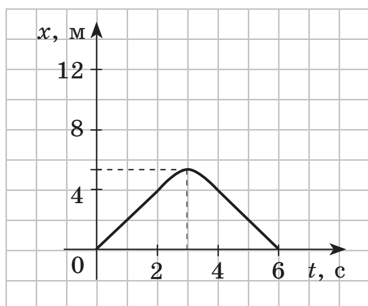
К задаче 9.34

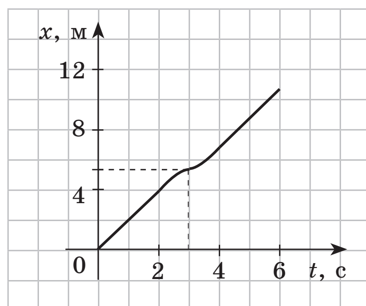


К задаче 9.35

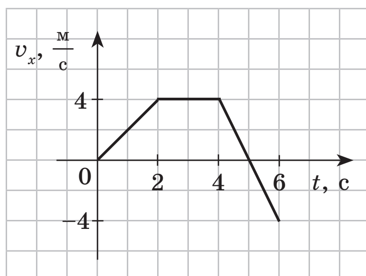


К задаче 9.47

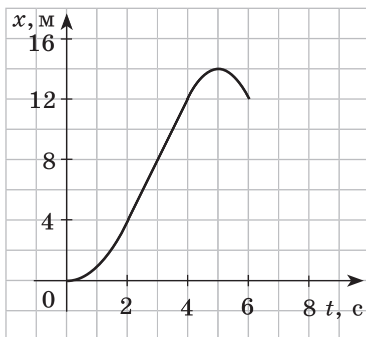


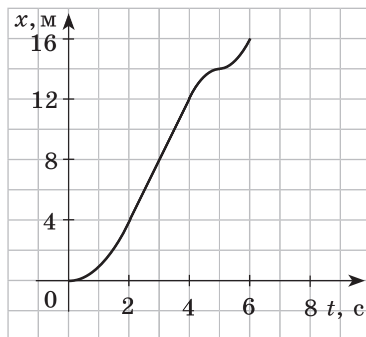


К задаче 9.47



К задаче 9.48





К задаче 9.48

10. Свободное падение

10.1. 7 с. **10.2.** 1,6 м/с^2. **10.3.** 49 м/с; 122,5 м. **10.4.** 31,25 м. **10.5.** 18 м/с. **10.6.** 368 м. **10.7.** ≈ 7 с. **10.8.** 5,5 м/с. **10.9.** ≈ 7 м/с. **10.10.** 35 м. **10.11.** 69 м. **10.12.** 147 м. **10.13.** $\approx 0{,}03$ с. **10.14.** $\approx 1{,}6$ с. **10.15.** 15 м/с; 11,25 м. **10.16.** 44 м. **10.17.** 20 м; 4 с. **10.18.** 60 м/с. **10.19.** 3320 м; 810 м/с. **10.20.** $t_1 = 1$ с; $t_2 = 4$ с. **10.21.** $\Delta t \approx 6$ с. **10.22.** $\approx 3{,}4$ с. **10.23.** 4 с. **10.24.** 1 с. **10.25.** $\approx 6{,}1$ с, если тело бросили

вертикально вниз; $\approx 6,5$ с, если тело бросили вертикально вверх. **10.26.** 151,25 м. **10.27.** $\approx 3,2$ с. **10.28.** 2,5 с; 68,75 м.

11. Движение тела, брошенного под углом к горизонту

11.1. $h = 5$ м; $l \approx 35$ м. **11.2.** 5,5 м. **11.3.** $h > 2200$ м. **11.4.** $\alpha = 60°$. **11.5.** $h \approx 22$ м; $l \approx 42$ м. **11.6.** $t = 3,7$ с; $l \approx 48$ м. **11.7.** $\alpha \approx 76°$. **11.8.** $\alpha = 45°$. **11.9.** Груз попал в место назначения. $t = 10$ с. **11.10.** 2 км. **11.11.** 45 м. **11.12.** $v_{02} = 3v_{01}$. **11.13.** $h_2 = 4h_1$. **11.14.** $t = 2$ с; $v = 25$ м/с; $\alpha \approx 53°$ к поверхности воды. **11.15.** $v \approx 41,5$ м/с; $\alpha \approx 69°$ к поверхности воды. **11.16.** 20 м.

12. Криволинейное движение. Равномерное движение по окружности

12.1. 0,25 с; 4 об/с. **12.2.** 2 мин. **12.3.** 0,2 с. **12.4.** $\approx 0,1$ рад/с. **12.5.** 4π рад/с. **12.6.** 5 об/с. **12.7.** 8 м/с^2. **12.8.** 25 м/с^2. **12.9.** 5 м/с. **12.10.** 4,5 м/с^2. **12.11.** 10 рад/с. **12.12.** а) $l = 1,256$ м; $s = 0$ м; б) $l = 0,628$ м; $s = 0,4$ м; в) $l = 0,314$ м; $s = 0,28$ м. **12.13.** а) $l = 235,5$ м; $s \approx 210$ м; б) $l = 471$ м; $s = 300$ м. **12.14.** $N = 45$. **12.15.** 60 с. **12.16.** $v = 6,28$ м/с; $\omega = 5\pi$ рад/с. **12.17.** ≈ 28 м/с. **12.18.** а) Да; б) нет. **12.19.** $\approx 100,5$ м. **12.20.** 95. **12.21.** ≈ 1674 км/ч. **12.22.** ≈ 1077 км/ч. **12.23.** $v_2 = \frac{v_1}{2}$. **12.24.** $v_с = 30v_{мин}$. **12.25.** $\omega_с = 3600\omega_ч$. **12.26.** $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$. **12.27.** $v_1 = v_2 = v_3$. **12.28.** $v = 1,4$ м/с; $T \approx 0,44$ с. **12.29.** 0,03 м/с^2. **12.30.** $\approx 0,6$ см/с^2. **12.31.** 20 м/с^2. **12.32.** $R = 0,3$ м; $\omega = 20$ рад/с. **12.33.** 16 см. **12.34.** 0,5 м/с. **12.35.** 7,6 об/хв. **12.36.** $N = 100$; $v = 157$ м/с; $a_{центростр} \approx 4900$ м/с^2. **12.37.** 40 оборотов. **12.38.** $g \approx 9,81$ м/с^2. **12.39.** $\approx 11,6$ м.

ДИНАМИКА

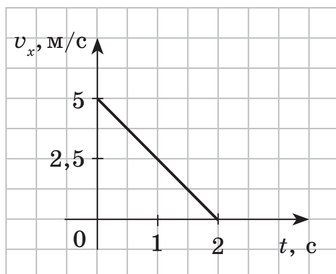
13. Первый закон Ньютона

13.1. Компенсируются действия парашюта, Земли и воздуха. **13.2.** Компенсируются действия Земли и пола. **13.3.** Компенсируются действия Земли и воды. **13.4.** Да, поскольку действия всех сил скомпенсированы. **13.5.** Да, поскольку действия всех тел скомпенсированы. **13.6.** Тело движется равномерно прямолинейно, если на него не действуют другие тела или когда равнодействующая сил, приложенных к телу, равна нулю. **13.7.** Так как на автомобиль

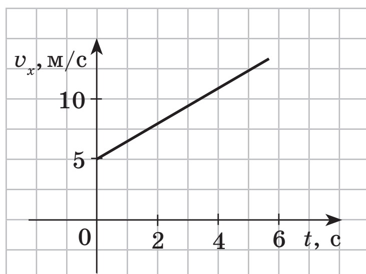
действует нескомпенсированная сила трения. **13.8.** Так как действия сил тяготения Земли и сопротивления воздуха являются нескомпенсированными. **13.9.** а) Нет; б) да; в) нет. **13.10.** а) Да; б) нет; в) нет. **13.11.** Нет. Скорость велосипедиста меняется по направлению, поскольку велосипедист имеет центростремительное ускорение. **13.12.** Нет, так как поезд движется равноускоренно. **13.13.** Такого тела нет. **13.14.** а) Равномерно прямолинейно; б) поезд поворачивает в сторону; в) замедленно прямолинейно; г) ускоренно прямолинейно. **13.15.** Так как тело человека продолжает двигаться по инерции. **13.16.** Термометр останавливается, а ртуть продолжает двигаться по инерции. **13.17.** Такое поведение объясняется инерцией тела. **13.18.** Из-за наличия инерции. **13.19.** а; г. **13.20.** а; б; в; д. **13.21.** Время действия пули на дверь очень мало в сравнении с действием пальца. За это время деформация, вызванная действием пули, не успевает распространиться на значительное расстояние, поэтому пуля пробивает в двери отверстие, а дверь благодаря явлению инерции остается на месте.

14. Второй закон Ньютона

14.1. Подсказка: равнодействующая и ускорение направлены одинаково. **14.2.** а) Вправо; б) вверх; в) 1 — вправо вниз; вправо вниз; 2 — вертикально вверх; 3 — влево вниз. **14.5.** 25 см/с^2. **14.6.** 0,5 Н. **14.7.** 500 г. **14.8.** $R \approx 23$ Н; $R_x \approx 17$ Н; $R_y = 15$ Н. **14.9.** а) Да; б) нет; в) Да. **14.10.** а) Да; б) нет; в) нет; г) да. **14.11.** 15 Н. **14.12.** 6 кН. **14.13.** См. рисунок. **14.14.** См. рисунок. **14.15.** *AB*. **14.16.** 0,3 м/с^2. **14.17.** 1440 кг. **14.18.** 24 кг. **14.19.** Ускорение меньшего шарика будет в 27 раз больше. Нет. **14.20.** В 4 раза. **14.21.** 20 т. **14.22.** 500 Н. **14.23.** $v_x = 2 + 3t$. **14.24.** $x = 16 + 8t - 0{,}3t^2$. **14.25.** 1,2 МН. **14.26.** 3 мин 20 с. **14.27.** 20 с; 400 м. **14.28.** 1 кН. **14.29.** 25 кН. **14.30.** 0,5 Н.



К задаче 14.13



К задаче 14.14

15. Третий закон Ньютона

15.1. Одинаковые. **15.2.** Нельзя искать равнодействующую сил, приложенных к разным телам. **15.4.** Ракетка и мяч действуют друг на друга с одинаковой силой. **15.5.** Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми вагоны действуют друг на друга во время столкновения, будут одинаковы независимо от скорости движения и от массы вагонов в момент столкновения. **15.6.** Нет. Силы одинаковы, а ускорения тел разной массы и, соответственно, результат действия — разные. **15.7.** Масса корабля намного больше, чем масса лодки, поэтому та же самая по величине сила придает ему ускорение, близкое к нулю. **15.8.** Одновременно. **15.9.** Если массы лодок с людьми одинаковы, то и приближаться они будут одинаково. Если же их массы разные, то ускорения, которые они получат в результате взаимодействия, будут обратно пропорциональны массам. **15.10.** а) 150 Н; б) 0 Н. **15.11.** а) Да; б) нет. **15.12.** Чаша весов, на которой стоит сосуд, перевесит, поскольку не только вода выталкивает шарик, но и шарик по третьему закону Ньютона действует на воду с такой же силой вертикально вниз.

16. Сила упругости

16.4. 10 Н/м. **16.5.** Жесткость латунной в два раза больше; $k_1 = 1\frac{\text{кН}}{\text{м}}$; $k_2 = 500\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. **16.6.** 75 Н; 75 Н. **16.7.** 2500 Н/м. **16.8.** 6 мм. **16.9.** Коэффициенты жесткости одинаковы и равны 40 кН/м. **16.10.** 3 см; 5 см. **16.11.** 4 мм. **16.12.** 2 кН/м. **16.13.** 125 кПа. **16.14.** 27 см^2. **16.15.** 400 кН. **16.16.** 600 МПа. **16.17.** $|\varepsilon| = 3\cdot 10^{-3}$. **16.18.** Нет. **16.19.** При ударе шарика о камень возникает упругая деформация, и сила упругости камня отбрасывает шарик. Деформация же асфальта является пластической, следовательно, и возникающая сила упругости намного меньше, чем в первом случае. **16.20.** Если жесткости буферных пружин одинаковы, то и сожмутся они во время столкновения вагонов одинаково, поскольку силы, с которыми вагоны действуют друг на друга при столкновении, одинаковы. Если же их жесткости разные, то больше сожмется та пружина, жесткость которой меньше, — это вытекает из закона Гука. **16.21.** Нет. **16.22.** Во втором случае коэффициент жесткости в 3 раза больше. **16.23.** Увеличится в 9 раз. **16.24.** 0,5 м/с^2. **16.25** 0,75 мм. **16.26.** $\approx 97{,}5$ МПа. **16.27.** 62,8 Н. **16.28.** ≈ 5 мм. **16.29.** 210 ГПа. **16.30.** $\approx 0{,}043\,\%$. **16.31.** 27. **16.32.** $\approx 1{,}6$ мм. **16.33.** 23 кН. **16.34.** 2 м. **16.35.** $\approx 0{,}6$ мм.

16.36. Запас прочности составляет 2; $\approx 0,85$ мм; $\approx 1,7\cdot 10^{-3}$. **16.37.** 1300 Н. **16.38.** 96 Н/м. **16.39.** $\approx 2,7\cdot 10^{-5}$ м. **16.40.** 10,4 см. **16.41.** 8 см. **16.42.** ≈ 5 км. **16.43.** ≈ 195 ГПа. **16.44.** ≈ 7 мм. **16.45.** ≈ 4 мм. **16.46.** 16,6 м/с. **16.47.** 946,5 МПа. **16.48.** 25. **16.49.** ≈ 520 МПа.

17. Сила всемирного тяготения

17.1. ≈ 43 мкН. **17.2.** 80 000 т. **17.3.** $\approx 3,76$ м/с^2. **17.4.** $\approx 6,4\cdot 10^{23}$ кг. **17.5.** а) Уменьшилась приблизительно в 1,1 раза; б) в 4 раза. **17.6.** На высоте, равной двум земным радиусам. **17.7.** 38 400 км от Луны. **17.8.** $0,14\,R_{Ю}$ от Ганимеда. **17.9.** $\approx 0,6$ м/с^2. **17.10.** $h \approx 0,4\,R_{З}$. **17.11.** На 8,7 м/с^2. **17.12.** $\approx 7,4$ км/с. **17.13.** Уменьшится приблизительно в 1,02 раза. **17.14.** Увеличилась на 350 км. **17.15.** 25,8 м/с^2. **17.16.** ≈ 270 м/с^2. **17.17.** $6,3\cdot 10^{23}$ кг. **17.18.** $\approx 1,5$ ч.

18. Сила тяжести. Вес. Невесомость

18.1. Расстояние от центра Земли до поверхности на экваторе больше, чем на полюсах. **18.2.** Нет, показания динамометра на полюсе будут большими. **18.3.** 780,8 кН. **18.4.** На 70 мН. **18.5.** Сила натяжения троса, которая по третьему закону Ньютона равна весу лифта, в начале движения возрастает, затем равняется силе тяготения, а в конце движения уменьшается. **18.6.** В обоих случаях ускорение направлено вверх, таким образом, и на старте, и перед посадкой вес космонавта увеличивается. **18.7.** 2,3 кН. **18.8.** $\approx 6,7$ м/с^2. **18.9.** 400 кг. **18.10.** 72 Н. **18.11.** 2,5 м/с^2. **18.12.** Только в верхней точке полета. **18.13.** 17,8 кН. **18.14.** 15 дм^3. **18.15.** Увеличивается на 100 Н. **18.16.** 5 м/с. **18.17.** 108 км/ч. **18.18.** 3 т. **18.19.** 4125 Н. **18.20.** ≈ 694 м. **18.21.** Любое тело можно считать «опорой» для Земли, на которую она действует. В этом смысле Земля имеет вес. **18.22.** Земля движется вокруг Солнца только под действием силы всемирного тяготения, следовательно, она находится в состоянии невесомости. **18.23.** Нет, состояние невесомости прекращается, когда включают двигатели. **18.24.** Да, в течение того времени, пока двигатели корабля были отключены. **18.25.** Да, если двигатели будут отключены, поскольку в это время корабль будет двигаться только под действием гравитации. **18.26.** 2,45 кг. **18.27.** 3 м/с^2.

19. Сила трения. Сила сопротивления среды

19.1. Нет. **19.2.** Нет, если рельсы горизонтальные. **19.3.** Сила трения покоя. **19.4.** Нет, поскольку максимальная сила трения покоя тележки больше, чем приложенная сила; 80 Н. **19.5.** а) Нет; б) да. **19.6.** Чтобы увеличить силу трения. **19.7.** Нет. **19.8.** а) Против движения; б) в направлении движения. **19.9.** Сила трения скольжения больше, чем сила трения качения. **19.10.** Тяжелее сдвинуть вагон с места. **19.11.** Сила трения скольжения меньше, чем сила трения покоя. **19.12.** Сила трения зависит от относительной скорости тел, между которыми возникает сила трения. **19.13.** Пока сила тяжести не будет уравновешена силой сопротивления воздуха. **19.14.** а) Не будет двигаться; б) будет двигаться равномерно прямолинейно; в) будет двигаться равноускоренно. **19.15.** 1,5 кН. **19.16.** 0,015. **19.17.** 2 кН. **19.18.** 400 т. **19.19.** 5 с. **19.20.** 20 м/с. **19.21.** За счет большей площади опоры роликовые подшипники выдерживают большие нагрузки. **19.22.** За счет вихрей, которые образуются позади лидера, давление позади его меньше, чем перед ним, а у тех, кто позади лидера, давления почти одинаковы, следовательно, сопротивление воздуха лидеру больше, чем тому, кто бежит за ним. **19.23.** 0,25. **19.24.** ≈ 84 км/ч. **19.25.** ≈ 80 км/ч; 66°. **19.26.** $\approx 7°$.

20. Движение тела под действием нескольких сил

I. Движение по горизонтали и вертикали

20.1. 0,031 м/с^2. **20.2.** 2,3 кН. **20.3.** 5 Н. **20.4.** 120 мН. **20.5.** $\approx 9{,}5$ м/с^2. **20.6.** 1,15 м/с^2. **20.7.** 0,19. **20.8.** 700 м; 40 с. **20.9.** $\approx 0{,}02$. **20.10.** 3,1 Н. **20.11.** 24 м/с. **20.12.** а) 275 Н; б) 325 Н. **20.13.** $\approx 1{,}6$ м/с^2. **20.14.** 0,2. **20.15.** ≈ 130 кг. **20.16.** 0,4.

II. Движение по наклонной плоскости

20.17. ≈ 2050 Н. **20.18.** 2,4 м/с^2. **20.19.** 44 Н. **20.20.** $\approx 1{,}7$ м/с^2. **20.21.** 0,675 м/с^2; $\mu \geqslant 0{,}58$. **20.22.** $\approx 0{,}48$. **20.23.** ≈ 220 Н. **20.24.** 0,2. **20.25.** $\approx 6{,}4$ кН. **20.26.** 7,7 кН. **20.27.** 3 с; 13 м/с. **20.28.** 5 м. **20.29.** 20 м/с. **20.30.** 2,5 м/с^2. **20.31.** $\approx$ 97 кг. **20.32.** 0,19. **20.33.** $\approx 136{,}5$ м; $\approx 16{,}5$ с.

III. Движение по окружности

20.34. 5 кН. **20.35.** а) 186,2 кН; б) 185,7 кН. **20.36.** ≈100 м. **20.37.** ≈4,2 см. **20.38.** 45°. **20.39.** ≈53 км/ч. **20.40.** 40 м. **20.41.** 72 км/ч. **20.42.** ≈57,6 км/ч. **20.43.** ≈41 об/мин. **20.44.** 5 рад/с. **20.45.** ≈38 об/мин. **20.46.** 14,5 Н. **20.47.** ≈1,3 м. **20.48.** ≈5,3 рад/с; ≈2,3 Н. **20.49.** 5,88 Н; 2,4 м/с. **20.50.** 8,55 Н. **20.51.** Частота вращения должна быть меньше, чем 103 об/мин. **20.52.** На неподвижной поверхности удержится, на подвижной — нет.

IV. Движение системы связанных тел

20.53. 77 Н. **20.54.** 0,24 м/с^2; 20 Н. **20.55.** ≈9,82 м/с^2. **20.56.** 17 Н. **20.57.** 4 м/с; 9,6 Н. **20.58.** 102,4 г. **20.59.** 4 м/с^2; 1,2 Н. **20.60.** 4 м/с^2; 0,8 Н. **20.61.** $F \leqslant 12$ Н; $F \leqslant 24$ Н. **20.62.** 36 Н. **20.63.** 0,76 Н; 0,8 м/с^2. **20.64.** 1 м/с^2; 3 Н. **20.65.** ≈0,37. **20.66.** ≈1,67 м/с; ≈0,83 Н — между телами m и m_1; ≈0,50 Н — между телами m_2 и m_1. **20.67.** 0,5 м/с^2; 0,95 Н — между телами m и m_1; 0,57 Н — между телами m_2 и m_1. **20.68.** 0,48 м/с^2; 2,1 Н; 4,2 Н. **20.69.** 4 г. **20.70.** $a = \frac{g}{3} \approx 3{,}3$ м/с^2; 2 Н — между первым и вторым телами m и m_1; 4 Н — между вторым и третьим телами. **20.71.** $a_{отн} = -2{,}7$ м/с^2. **20.72.** ≈1 м/с^2. **20.73.** 0,07. **20.74.** ≈36 Н. **20.75.** 1,67 м/с^2. **20.76.** ≈1,8 м/с^2. **20.77.** Система тел не будет двигаться.

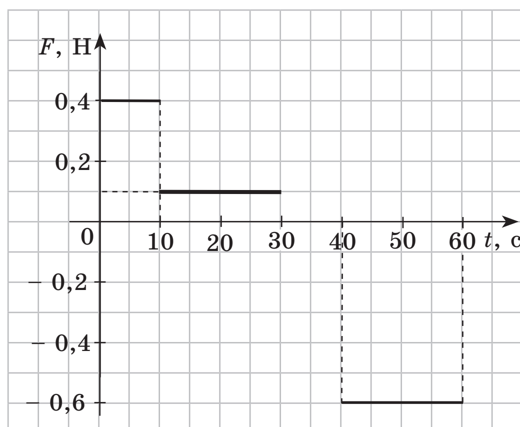
21. Статика

21.1. $20\,\text{Н} < R < 100\,\text{Н}$. **21.2.** а) Нет; б) Да; в) нет. **21.3.** Силы должны действовать вдоль одной прямой: F_1 и F_2 в одну сторону, а F_3 — в противоположную. **21.4.** Проекция силы, приложенной к веревке, на направление движения. **21.5.** 1 — равновесия нет; 2 — устойчивое равновесие; 3 — неустойчивое равновесие; 4 — безразличное равновесие. **21.6.** В неустойчивом равновесии. **21.7.** $M_1 = 11$ Н·м; $M_2 = -11$ Н·м; $M_N = 0$. Тело будет в равновесии. **21.8.** Нет, равновесие нарушится, левое плечо рычага опустится, поскольку $M_1 > M_2$. **21.9.** а) Нет; б) да. **21.10.** 90 Н. **21.11.** 500 Н. **21.12.** 36 см. **21.13.** 20 см. **21.14.** 22,5 кг. **21.15.** 72 Н. **21.16.** $\left|\vec{F}\right| = 21$ Н. **21.17.** Вертикально вверх 8000 Н. **21.18.** Нет, так как в этом случае сила тяжести и сила натяжения веревки действуют перпендикулярно друг другу и не могут быть уравновешены. **21.19.** Чем больше плечо силы, тем больше момент этой силы. **21.21.** Момент

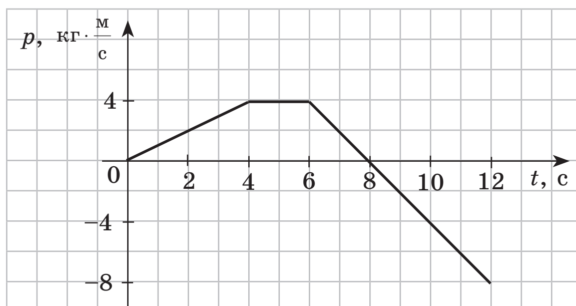
силы, необходимый для того, чтобы сдвинуть трактор, значительно больше. **21.22.** Уменьшается плечо силы, за счет чего можно увеличить вес груза, который необходимо поднять. **21.23.** Нет, поскольку момент силы тяжести не уравновешен. **21.24.** У того, который везет дрова, поскольку его центр тяжести расположен выше. **21.25.** Легковой: его центр тяжести ниже, благодаря чему равновесие устойчивее. **21.26.** Для сохранения устойчивого равновесия. **21.27.** Центр тяжести сосны находится значительно выше, а равновесие, соответственно, менее устойчиво. **21.28.** $\left|\vec{R}\right| = 0$ Н; $R_x = 0$ Н; $R_y = 0$ Н. **21.29.** $\left|\vec{R}\right| \approx 73$ Н; $R_x \approx 36{,}6$ Н; $R_y \approx -63$ Н. **21.30.** $\approx 2{,}5$ Н. **21.31.** ≈ 531 Н; ≈ 960 Н. **21.32.** 500 Н; ≈ 700 Н. **21.33.** ≈ 15 кг; 56°15'. **21.34.** На расстоянии 62,5 см в сторону более тяжелого груза. **21.35.** 96 см. **21.36.** 14 кг. **21.37.** 4 кг. **21.38.** 240 Н. **21.39.** 10 Н. **21.40.** 3,1 м. **21.41.** На расстоянии 15 см от конца, где закреплен более массивный груз. **21.42.** На расстоянии 1,75 см от центра стержня в сторону большего шара. **21.43.** 17 Н; 32 Н. **21.44.** 200 Н; 800 Н. **21.45.** 70 Н; 130 Н. **21.46.** $F_A = 45$ Н направлена вверх; $F_B = 425$ Н — вниз. **21.47.** На расстоянии $\frac{2}{3}R$ от центра более тяжелого шара. **21.48.** На расстоянии $0{,}55R$ от центра цинкового шара. **21.49.** На расстоянии $\frac{R}{7}$ от центра большего шара. R — радиус меньшего шара. **21.50.** Из-за резких движений ног конькобежца появляются моменты сил, которые стремятся повернуть его корпус вокруг вертикальной оси. Махи конькобежца руками создают моменты сил, которые противодействуют моментам сил, обусловленным движениями его ног. **21.51.** Во время торможения передними колесами возникает момент сил, который может опрокинуть машину. **21.52.** Не опрокидываются благодаря устойчивому равновесию, обусловленному тем, что центр тяжести находится значительно ниже точки подвеса. **21.53.** Устойчивое равновесие, поскольку при выведении линейки из равновесия ее центр тяжести поднимается. **21.54.** 150 Н; 200 Н. **21.55.** 1 см. **21.56.** $T \approx 21$ Н; $Q \approx 25$ Н под углом 27° к стойке AB. **21.57.** $\approx 42°$. **21.58.** $h = \frac{2\mu_2(m+M)(\cos\alpha + \mu_1 \sin\alpha) - m\sin\alpha(1+\mu_1\mu_2)}{2M\,\mathrm{tg}\,\alpha(1+\mu_1\mu_2)} l$; $h \approx 3{,}3$ м. **21.59.** На расстоянии 186 мм от левого края пластинки на линии, являющейся продолжением медианы ее треугольной части. **21.60.** $x = \frac{R}{6}$. **21.61.** $x = \frac{\pi l\sqrt{2}}{4(16-\pi)}$.

22. Импульс. Закон сохранения импульса

22.1. Да, если изменится направление скорости. **22.2.** Да, если бросит от себя какой-либо предмет. **22.4.** 12 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.5.** 0,6 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.6.** 0,7 кг. **22.7.** 333 м/с. **22.8.** 324 км/ч. **22.9.** 4050 кг. **22.10.** $p_1 = 0{,}3\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; $p_2 = 0{,}2\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.11.** На 11 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.12.** 250 м/с. **22.13.** Уменьшился на 0,3 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.14.** Увеличивается на 0,6 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.15.** 3 кН. **22.16.** 800 Н. **22.17** 37,5 мс. **22.18.** 10 с. **22.19.** 0,2 м/с. **22.20.** 1 м/с. **22.21.** Да. **22.22.** 30 м/с. **22.23.** 3,16 т. **22.24.** а) 1 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, 10 Н; б) 0,5 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, 5 Н; в) вдоль оси OX импульс шаров изменился на 0,5 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, а вдоль оси OY — не изменился; 5 Н. **22.25.** −5,1 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.26.** 3 км/с. **22.27.** 301 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 280 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 56 Н. **22.28.** 40 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 20 Н. **22.29.** $x = 0{,}5t^2$. **22.30.** См. рисунок. **22.31.** См. рисунок. **22.32.** 40 м. **22.33.** 19,2 м. **22.34.** 1,26 Н. **22.35.** ≈ 48 с. **22.36.** Отдачу брали на себя выходящие газы. **22.37.** 2,75 м/с. **22.38.** а) 2,2 м/с в направлении первоначального движения платформы; б) 0,8 м/с в направлении, противоположном направлению первоначального движения платформы. **22.39.** а) 0,2 м/с; б) 1,3 м/с. **22.40.** 1 кг. **22.41.** 125 кг. **22.42.** Приблизительно на 5,65 м/с. **22.43.** $\approx 4{,}7$ см/с. **22.44.** 12,45 т. **22.45.** На 4 м против движения мальчика. **22.46.** 2,1 м. **22.47.** 0,28 м/с. **22.48.** 44 м; 11 м. **22.49.** Согласно закону сохранения импульса это невозможно. **22.50.** Ракета может остановиться и затем начать движение в обратном направлении. **22.51.** Во всех случаях — да, поскольку на ракету действует нескомпенсированная сила. **22.52.** 500 м. **22.53.** ≈ 300 м. **22.54.** 217 м/с. **22.55.** Импульс диска равен нулю. **22.56.** Нулю. **22.58.** 0,93 м/с; $\approx 11^\circ$ к первоначальному направлению движения. **22.59.** 12,5 м/с; в направлении, противоположном движению большего осколка. **22.60.** ≈ 58 м/с; под углом 15° к горизонту. **22.61.** $m_3 \approx 0{,}8$ кг; $\alpha = 122^\circ$ к направлению движения первого осколка. **22.62.** 3,75 м. **22.63.** 0,09 м/с; 40 с. **22.64.** 4,5 м. **22.65.** 8 м/с. **22.66.** 20 т. **22.67.** Нет, ускорение ракеты возрастает, поскольку ее масса и ускорение свободного падения уменьшаются. **22.68.** ≈ 25 кг/с.



К задаче 22.30



К задаче 22.31

23. Механическая работа. Мощность. КПД

23.1. 255 Дж. **23.2.** ≈ 52 кДж; –52 кДж. **23.3.** 72 Дж. **23.4.** 500 Н. **23.5.** 6,2 МДж. **23.6.** 100 м. **23.7.** 3 Н. **23.8.** 75 кг. **23.9.** 1200 Дж. **23.10.** 41,04 Дж. **23.11.** 2,5 м/с^2. **23.12.** 12,25 Дж; –0,5 Дж. **23.13.** 9,45 м/с^2. **23.14.** 125 Вт. **23.15.** 80 с. **23.16.** 50 кВт. **23.17.** 4 м/с. **23.18.** 1 МВт. **23.19.** 27 м. **23.20.** 2,5 т. **23.21.** 12,5 Вт. **23.22.** ≈ 2 ч 10 мин. **23.23.** 3,8 кВт. **23.24.** 50 с. **23.25.** 21,6 т. **23.26.** 6 кВт. **23.27.** ≈ 100 км/ч. **23.28.** 80 %. **23.29.** 4,7 кДж. **23.30.** 80 %. **23.31.** ≈ 1 кН. **23.32.** 90 %. **23.33.** 390 Н. **23.34.** 9,6 Дж. **23.35.** 300 кг. **23.36.** ≈ 10,55 кДж. **23.37.** 777 Дж. **23.38.** 420 кДж. **23.39.** ≈ 1,5 м/с^2. **23.40.** 44 кДж. **23.41.** 3,24 МДж. **23.42.** 960 Дж; –960 Дж. **23.43.** ≈ 3,7 м^3. **23.44.** ≈ 44 Дж. **23.45.** 768 Дж.

23.46. 240 мДж. **23.47.** 77 Дж. **23.48.** $\approx 247{,}5$ Дж. **23.49.** 750 кВт. **23.50.** 3 $м^3/с$. **23.51.** 150 МДж; $\approx 1{,}3$ МВт. **23.52.** 42 кВт. **23.53.** 0,3 МВт. **23.54.** 1,25 $м/с^2$. **23.55.** 30 кН. **23.56.** 7 кН. **23.57.** 60 %. **23.58.** 6,3 м. **23.59.** ≈ 380 т. **23.60.** $\approx 6{,}8$ м. **23.61.** 3750 кг. **23.62.** 625 $м^3/с$. **23.63.** 374 кВт. **23.64.** $\approx 56{,}5\,\%$. **23.65.** $\approx 73{,}5\,\%$. **23.66.** 82,5 %; 27,5 Н. **23.67.** $\approx 97\,\%$. **23.68.** 540 кг. **23.69.** 116 кДж. **23.70.** $\approx 76{,}2$ Дж. **23.71.** ≈ 400 Н. **23.72.** ≈ 25 см. **23.73.** 72 км/ч. **23.74.** ≈ 9 км/ч. **23.75.** 3 кВт. **23.76.** $\approx 2{,}9$ кВт. **23.77.** 1274 кДж; $\approx 77\,\%$. **23.78.** 3,75 кВт. **23.79.** 240 Н; 1,2 кВт.

24. Механическая энергия. Закон сохранения механической энергии

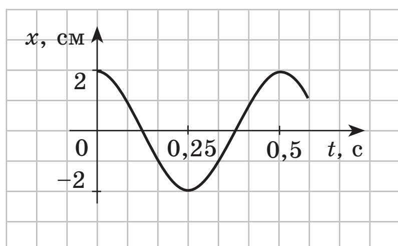
24.1. 27 Дж; 9 Дж. **24.2.** 960 Дж. **24.3.** 4 м. **24.4.** 20 кг. **24.5.** Уменьшилась на 3 Дж. **24.6.** 24 Дж. **24.7.** 8 см. **24.8.** 51,2 МН/м. **24.9.** 9 Дж. **24.10.** 50 кг. **24.11.** $\approx 15{,}5$ м/с. **24.12.** 225 кДж. **24.13.** Нет. **24.14.** 3040 т. **24.15.** $\approx 68{,}41$ ГДж. **24.16.** Полная механическая энергия спутника на заданной орбите определяется его массой $E = mgh + \frac{mv^2}{2}$. **24.17.** Нет, часть механической энергии превращается во внутреннюю. **24.18.** Нет. **24.19.** 40,8 м. **24.20.** $\approx 3{,}25$ м/с. **24.21.** 3 м/с. **24.22.** 4 Дж; 5 Дж. **24.23.** 1,2 Дж; 4,8 Дж. **24.24.** 80 см. **24.25.** 400 Н/м. **24.26.** 20 м/с; 20 м. **24.27.** 100 Дж. **24.28.** 1,8 кДж. **24.29.** $\frac{4}{3}\pi\rho g R^4$. **24.30.** При запуске вдоль экватора, поскольку скорость суточного вращения Земли добавляется к скорости, приданной двигателем ракеты-носителя. **24.31.** 10 Дж; 1,25 Дж. **24.32.** ≈ 14 м/с. **24.33.** $\approx 2{,}3\,\frac{кг \cdot м}{с}$; -1 Дж. **24.34.** 10 м/с. **24.35.** 6,5 м. **24.36.** 15 м/с. **24.37.** 15 м/с. **24.38.** ≈ 15 м/с; $\approx 64°$. **24.39.** $\approx 13{,}3$ м/с. **24.40.** Указание: учтите, что наиболее устойчивому состоянию равновесия системы соответствует минимум ее потенциальной энергии. **24.41.** а) Да, поскольку согласно закону сохранения механической энергии $mgh = \frac{mv^2}{2}$; б) да, поскольку изменяется расстояние между телами. **24.42.** $H = 2{,}5R = 7{,}5$ м. **24.43.** $H = \frac{5}{3}R$. **24.44.** $h = \frac{2}{3}R$. **24.45.** 1 м/с; 5 м/с. **24.46.** Уменьшилась в 1,7 раза. **24.47.** а) $\approx 0{,}33$ м/с; -125 мДж; б) $\approx 2{,}3$ м/с; -5 мДж. **24.48.** Половина. **24.49.** ≈ 550 м/с. **24.50.** 6,4 см.

25. Механические колебания

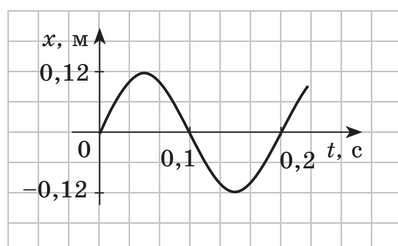
25.1. Та, что находится на дне полусферы. **25.2.** б, г, д. **25.3.** 2,5 с; 0,4 Гц. **25.4.** 0,5 с; 2 Гц; 4π $с^{-1}$. **25.5.** 25 Гц; 0,04 с. **25.6.** 1,5. **25.7.** $x_m = 5$ см; $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ рад; $\omega = 0{,}01\pi$ $с^{-1}$; $T = 200$ с. **25.8.** $x_m = 2$ см; $\varphi_0 = 0$ рад; $\omega = 4\pi$ $с^{-1}$; $\nu = 2$ Гц; $T = 0{,}5$ с. **25.9.** $x = 0{,}06\cos\left(8\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$. **25.10.** $x = 0{,}12\sin 10\pi t$. **25.11.** 8 см. **25.12.** $\approx 19{,}5°$. **25.13.** а) Уменьшится; б) увеличится; в) не изменится. **25.14.** 62,8 мс. **25.15.** 9,55 Гц. **25.16.** а) Увеличится; б) не изменится. **25.17.** $\approx 4{,}5$ с. **25.18.** $\approx 19{,}9$ с. **25.19.** 750 мДж. **25.20.** 3,2 Дж; 4 кН/м. **25.21.** 0,5 кг. **25.23.** Тело совершает гармонические колебания по закону синуса; $x_m = 23$ см; $\varphi_0 = 0$ рад; $T = 25$ мс; $\nu = 40$ Гц; $x = 0{,}23\sin 80\pi t$. **25.24.** Тело совершает гармонические колебания по закону косинуса; $x_m = 9$ см; $\varphi_0 = 0$ рад; $T = 8$ с; $\nu = 0{,}125$ Гц; $x = 0{,}09\cos\frac{\pi t}{4}$. **25.25.** $T = 8$ с; $x \approx -6$ см. **25.26.** $x = 0{,}45\sin\left(\frac{2\pi t}{3} + \frac{\pi}{6}\right)$. **25.27.** См. рисунок. $x = 0{,}05\sin\frac{5\pi t}{6}$; $\approx 3{,}5$ см. **25.28.** См. рисунок. $x = 0{,}25\cos\left(\frac{\pi t}{6} + \frac{\pi}{2}\right)$; $-12{,}5$ см. **25.29.** См. рисунки. **25.30.** ≈ 4 кг. **25.31.** 16,4 Н/м. **25.32.** 75,36 с. **25.33.** Уменьшится в 1,7 раза. **25.34.** $\approx 0{,}8$ с; $x = 0{,}08\cos\frac{5\pi t}{2}$. **25.35.** $\approx 3{,}5$ Гц. **25.36.** ≈ 6 см. **25.37.** 0,5 м. **25.38.** Ход часов замедлится. **25.39.** Ход часов замедлится. **25.40.** Передвинуть грузик вверх. **25.41.** Не изменится. **25.42.** Частота колебаний увеличится. **25.43.** 3,14 с; 9,8 м/$с^2$. **25.44.** 99,4 см. **25.45.** 9,75 м/$с^2$. **25.46.** $\approx 24{,}9$ см; $\approx 25{,}4$ см. **25.47.** $\approx 3{,}2$ с. **25.48.** $x = 0{,}11\cos 2{,}5t$. **25.49.** $\approx 99{,}4$ см. **25.50.** Первый маятник длиннее второго в 2,25 раза. **25.51.** Частота колебаний короткого маятника в два раза больше частоты длинного. **25.52.** 98 см; 128 см. **25.53.** 1,08 кг. **25.54.** 3,2 Дж; $\approx 6{,}4$ Гц; 640 Н/м. **25.56.** Вследствие резонанса. Изменить, например, темп походки. **25.57.** 72 км/ч. **25.58.** 60 см. **25.59.** 3 см. **25.60.** 1,6 Н. **25.61.** $t = \frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{\omega \cdot x}{v}\right)}{\omega} \approx 0{,}22$ с.

25.62. 5 с. **25.63.** ≈7,1 с. **25.64.** ≈3,5 с. **25.65.** Через $\frac{T}{8}$. **25.66.** ≈1,6 с.

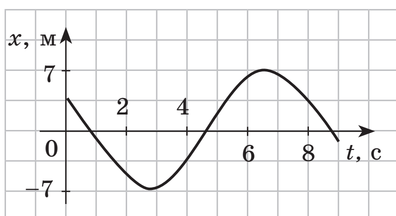
25.67. Период колебаний уменьшится в 1,07 раза. **25.68.** ≈99,4 см. **25.69.** а) Увеличится; б) уменьшится. **25.70.** Нет. **25.71.** Часы будут спешить ежесуточно на 3 мин 40 с. **25.72.** Лифт двигался вверх с ускорением $a \approx 1{,}7$ м/с². **25.73.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}} \approx 2{,}75$ с. **25.74.** Увеличить длину маятника на 4 см. **25.75.** Уменьшить длину маятника на ≈6 мм. **25.76.** Да, период колебаний мальчика уменьшится. **25.77.** ≈32 Дж; ≈24 Дж; ≈8 Дж. **25.78.** ≈3,1 мДж; ≈0,25 м/с. **25.79.** ≈22 см.



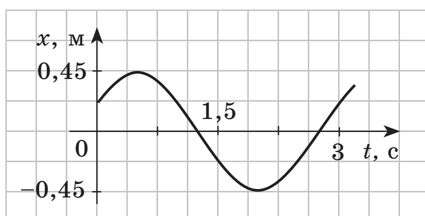
К задаче 25.8



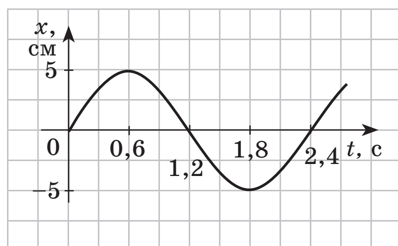
К задаче 25.10



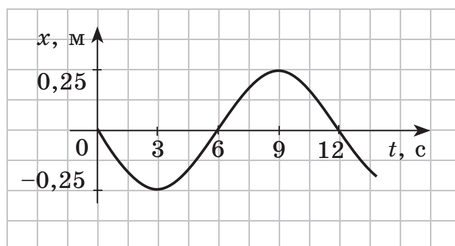
К задаче 25.25



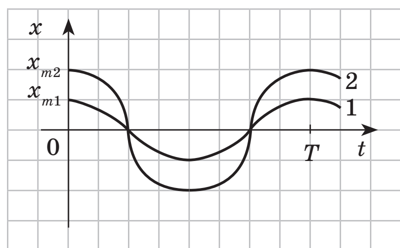
К задаче 25.26



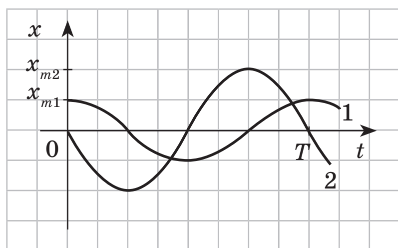
К задаче 25.27



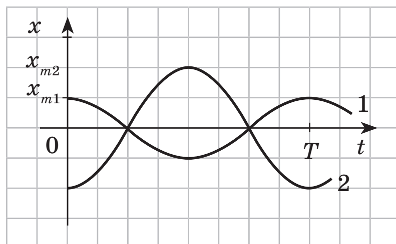
К задаче 25.28



а



б



в

К задаче 25.29

26. Механические волны

26.1. В струне — поперечные, в воздухе — продольные. **26.2.** Только в случае а). **26.3.** 6 м. **26.4.** 4 кГц. **26.5.** 1400 м/с. **26.6.** ≈ 3,5 м. **26.7.** 45 м. **26.8.** 20 с. **26.9.** Частота. **26.10.** В вакууме. **26.12.** 4,25 м; ≈ 0,26 м. **26.13.** 21,25 м. **26.14.** Взмахивая крыльями, насекомые создают звуковую волну. **26.15.** Пчела (см. задачу 26.12). **26.16.** Да. Когда дрель высверливает отверстие, тон звука становится ниже. **26.17.** 5100 м/с. **26.18.** 4 мм. **26.19.** 1400 м/с. **26.20.** 2,04 км. **26.21.** Отражением. **26.22.** Благодаря многократному эху. **26.23.** 510 м. **26.24.** 26 см; 52 см. **26.25.** Нет. **26.26.** Звук частично отражается от закрытой двери. **26.27.** 6 м/с. **26.28.** 100 м. **26.29.** В противофазах; 180°. **26.30.** $\frac{\pi}{2}$ рад. **26.31.** 3000 м/с. **26.32.** 18 км/ч. **26.33.** ≈ 276 м. **26.34.** Первое — нет. **26.35.** 75 м. **26.36.** Это обусловлено разницей в скорости распространения звука в металле и воздухе. **26.38.** ≈ 3600 м/с. **26.39.** ≈ 747 м. **26.40.** Тон звука определяется частотой, которая зависит только от частоты колебаний источника звука. **26.41.** 68 см. **26.42.** 4,6 см. **26.43.** 18 м; $\frac{5\pi}{3}$ рад; −1,73 см. **26.44.** Подсказка: $W \sim \nu^4$.

26.45. Нет, нельзя. **26.46.** 122,4 м; $\approx 49{,}5$ м/с. **26.47.** 342,5 м/с. **26.48.** 4,86 м. **26.49.** Пароход приближается к берегу со скоростью 16 км/ч. **26.50.** 197 Гц.

27. Релятивистская механика

27.1. В случаях а, б можно применить законы классической физики; в случаях в, г — только законы релятивистской механики. **27.2.** Скорость света. **27.3.** Со скоростью света. **27.4.** С одинаковой, поскольку скорость распространения света не зависит от скорости источника света. **27.5.** Только масса. **27.6.** $18\cdot10^{16}$ Дж; да, она увеличится, поскольку энергия покоя определяется только массой тела. **27.7.** 4,5 кг. **27.8.** Для того, который имеет ту же скорость относительно указанной системы отсчета. **27.9.** По релятивистской формуле $2{,}7\cdot10^{8}$ м/с. По классической — $3{,}6\cdot10^{8}$ м/с; это значение относительной скорости превышает скорость распространения света в вакууме, что невозможно согласно постулатам Эйнштейна. **27.10.** $\approx 2{,}07\cdot10^{8}$ м/с. **27.11.** 12 м. **27.12.** а) Уменьшится в 2,3 раза; б) не изменится. **27.13.** $\approx 7{,}35$ ч. **27.14.** В 1,25 раза. **27.15.** $2{,}25\cdot10^{16}$ Дж. **27.16.** $\approx 3\cdot10^{21}$ Дж. **27.17.** $1{,}0\cdot10^{-10}$ Дж. **27.18.** $\approx 2{,}6\cdot10^{8}$ м/с. **27.19.** Только импульсы тел. **27.20.** Да. **27.22.** На 264 Мт; за $9{,}3\cdot10^{12}$ лет. **27.23.** ≈ 630 МВ. **27.24.** а) $4m_0c^2$; б) $m_0c^2(n-1)$. **27.25.** а) $\approx 10^5$ лет; б) ≈ 5 мин. **27.26.** Да.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ КОНСТАНТЫ

Гравитационная постоянная	$6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Масса электрона	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона	$1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса нейтрона	$1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ кг
Элементарный заряд	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	$2{,}9979 \cdot 10^{8}$ м/с

2. СВЕДЕНИЯ О СОЛНЦЕ, ЗЕМЛЕ И ЛУНЕ

Радиус Солнца	$6{,}96 \cdot 10^{8}$ м
Масса Солнца	$1{,}99 \cdot 10^{30}$ кг
Средний радиус Земли	$6{,}371 \cdot 10^{6}$ м
Масса Земли	$5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг
Ускорение свободного падения на поверхности Земли	9,806 м/с^2
Среднее расстояние от Земли до Солнца	$1{,}496 \cdot 10^{11}$ м
Радиус Луны	$1{,}74 \cdot 10^{6}$ м
Масса Луны	$7{,}35 \cdot 10^{22}$ кг
Ускорение свободного падения на поверхности Луны	1,623 м/с^2
Среднее расстояние от Земли до Луны	$3{,}844 \cdot 10^{8}$ м
Период обращения Луны вокруг Земли	27 суток 7 ч 43 мин

3. ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВ

Твердые тела, $\cdot 10^3$ кг/м^3

Алюминий	2,7	Лед	0,9	Сосна (сухая)	0,4
Бетон	2,3	Мрамор	2,7	Свинец	11,3
Гранит	2,6	Медь	8,9	Сталь, железо	7,8
Дуб (сухой)	0,7	Олово	7,3	Кирпич	1,8
Пробка	0,24	Оргстекло	1,2	Цинк	7,1
Латунь	8,5	Стекло	2,5	Чугун	7,0

Жидкости, $\cdot 10^3$ кг/м³

Бензин	0,7	Масло	0,9
Вода пресная	1,0	Нефть	0,8
Вода морская	1,03	Ртуть	13,6
Керосин	0,8	Спирт	0,8

Газы, кг/м³ (при нормальных условиях)

Азот	1,25	Кислород	1,43
Водород	0,09	Воздух	1,29
Углекислый газ	1,98	Природный газ	0,8

4. ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ($\sigma_м$) И МОДУЛЬ УПРУГОСТИ (E)

Вещество	$\sigma_м$, МПа	*E*, ГПа
Алюминий	100	70
Латунь	50	100
Медь	400	120
Олово	20	50
Свинец	15	15
Серебро	140	80
Сталь	500	200

5. ПРЕФИКСЫ К ЕДИНИЦАМ ИЗМЕРЕНИЯ

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	деци	д	10^{-1}
гига	Г	10^{9}	санти	с	10^{-2}
мега	М	10^{6}	мили	м	10^{-3}
кило	к	10^{3}	микро	мк	10^{-6}
гекто	Г	10^{2}	нано	н	10^{-9}
дека	да	10^{1}	пико	п	10^{-12}

СОДЕРЖАНИЕ

Законы сохранения в механике

Механические колебания и волны

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаренко С. У. Фізика. 9 клас: Пробний навчальний посібник для шкіл III ступеня, гімназій і класів гуманітарного профілю. — К.: Освіта, 1994.
2. Гончаренко С. У. Олімпіади з фізики. — Харків: Видавнича група «Основа», 2008.
3. Гончаренко С.У., Коршак Є. В. Фізика: Олімпіадні задачі. 9–11 кл. — Тернопіль: Навчальна книга — Богдан, 1999.
4. Гончаренко С. У., Коршак Є. В., Коршак Н. М. Методика розв'язування задач з фізики. — К.: Вища школа, 1976.
5. Гельфгат І. М., Ненашев І. Ю. Фізика. 9 клас: Збірник задач. — Харків: Гімназія, 2004.
6. Гельфгат И. М., Генденштейн Л. Э., Кирик Л. А. 1001 задача по физике с решениями. — Харьков – Москва, «Развивающее обучение», 1996.
7. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник — К.: Наукова думка, 1994.
8. Коршак Є. В., Ляшенко А. І., Савченко В. Ф. Фізика. 9 клас: Підручник для середньої загальноосвітньої школи. — К., Ірпінь: ВТФ «Перун», 2000.
9. Коміренко М. М., Коміренко Н. І., Коміренко С. М. Матеріали для перевірки знань учнів з фізики. — К.: Рад. шк., 1989.
10. Ненашев И. Ю. Физика. 8 класс: Сборник задач. — Харьков: Издательство «Ранок», 2008.
11. Новак О. Ф. Збірник теоретичних задач і вправ з фізики.— К.: Рад. шк., 1989.
12. Савченко М. О. Фізика: Розвязування задач. — Тернопіль: Навчальна книга — Богдан, 2004.
13. Соколович Ю. А., Богданова А. С. Физика: Справочник с примерами решения задач. — Харьков: Издательство «Ранок», 2007.
14. Ильченко В. Р. Перекрестки физики, химии и биологии. — М.: Просвещение, 1986.

Сборник задач содержит:

- разные типы физических задач: качественные, расчетные, графические
- примеры решения задач
- ответы ко всем задачам
- справочные таблицы

Все задачи в пособии:

- дифференцированы по уровням учебных достижений
- сгруппированы по тематическим блокам
- сопровождены рисунками



ИЗДАТЕЛЬСТВО РАНОК

ISBN 978-611-540-761-3



9 786115 407613 >